

# **BIJLAGEN**

## **WARMTE KOUDE OPSLAG ... NÓG BETER!**

Daan Schipper  
Laurens Hos

Nijmegen, januari '07

Hogeschool Utrecht

Opleiding:  
Algemene Operationele Technologie

RTB Van Heugten Nijmegen



|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Bijlage 1 Bedrijfsbeschrijving .....                             | 5  |
| Bijlage 2 WKO .....                                              | 7  |
| Bijlage 3 Energie richtlijnen .....                              | 23 |
| Bijlage 4 Kosten .....                                           | 27 |
| Bijlage 5 Samenstelling gas- en elektriciteitsprijzen.....       | 35 |
| Bijlage 6 Subsidie .....                                         | 37 |
| Bijlage 7 Correctiefactoren seizoensgegevens .....               | 39 |
| Bijlage 8 Energieverbruik per seizoenssituatie .....             | 41 |
| Bijlage 9 Bepaling piekvermogens .....                           | 43 |
| Bijlage 10 Extreme weersituaties .....                           | 45 |
| Bijlage 11 Keuze warmtepomp.....                                 | 47 |
| Bijlage 12 Emissies .....                                        | 49 |
| Bijlage 13 Rendementsbepaling.....                               | 55 |
| Bijlage 14 Regelingen seizoenen .....                            | 57 |
| Bijlage 15 Meetgegevens .....                                    | 65 |
| Bijlage 16 Rekenmodel vermogens.....                             | 69 |
| Bijlage 17 Vermogensberekening drogekoeler .....                 | 73 |
| Bijlage 18 Financiële besparing per warmtepompvermogen .....     | 75 |
| Bijlage 19 CO <sub>2</sub> reductie per warmtepompvermogen ..... | 77 |
| Bijlage 20 NO <sub>x</sub> reductie per warmtepompvermogen.....  | 79 |
| Bijlage 21 SO <sub>2</sub> reductie per warmtepompvermogen ..... | 81 |
| Bijlage 22 Systeemtekeningen .....                               | 83 |



## Bijlage 1 Bedrijfsbeschrijving

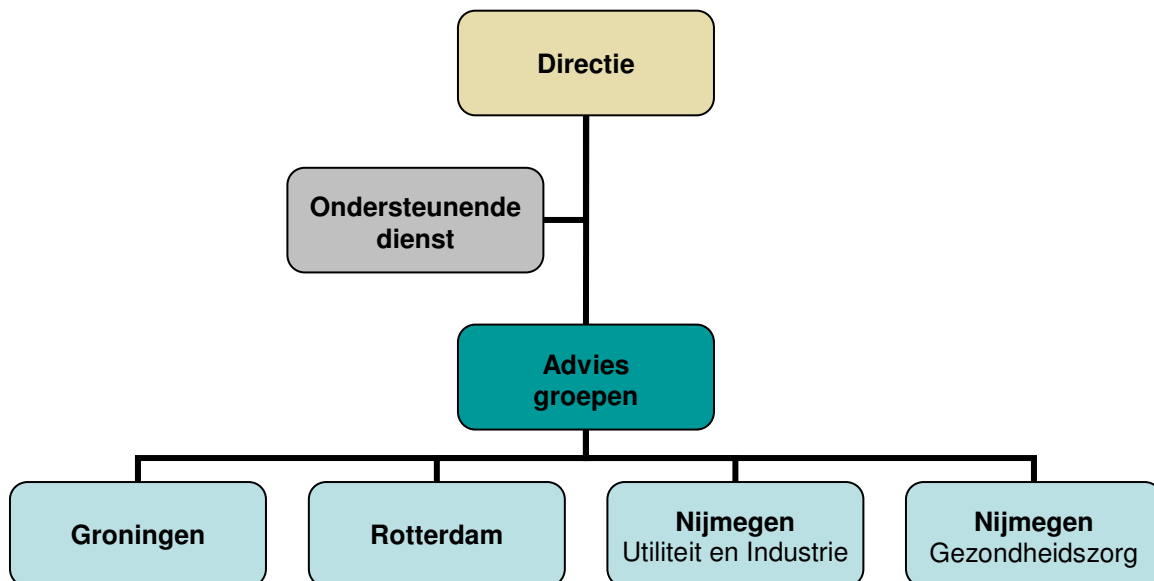
Raadgevend Technies Buro Van Heugten (RTB Van Heugten) is een onafhankelijk adviesbureau op het gebied van technische installaties in de bouw, waarbij alle advieswerkzaamheden van initiatief tot en met realisatie en onderhoud en beheer worden uitgevoerd. Van Heugten telt ongeveer 140 medewerkers. De kernactiviteit van de onderneming ligt op het terrein van klimaatbeheersing, energievoorziening, energiebeheer, elektrotechniek, telematica, bouw fysica, akoestiek, sanitair, medische en transportinstallaties.

De missie van RTB Van Heugten is volgens het bedrijf:

- Behartigen van de belangen van de opdrachtgever.
- Bieden van een dienstverlening die toonaangevend is.
- Voeren opdrachten uit die borg staan voor kwaliteit.
- Stimuleren van de groei op plaatsen die aansluiten bij de kernactiviteiten.

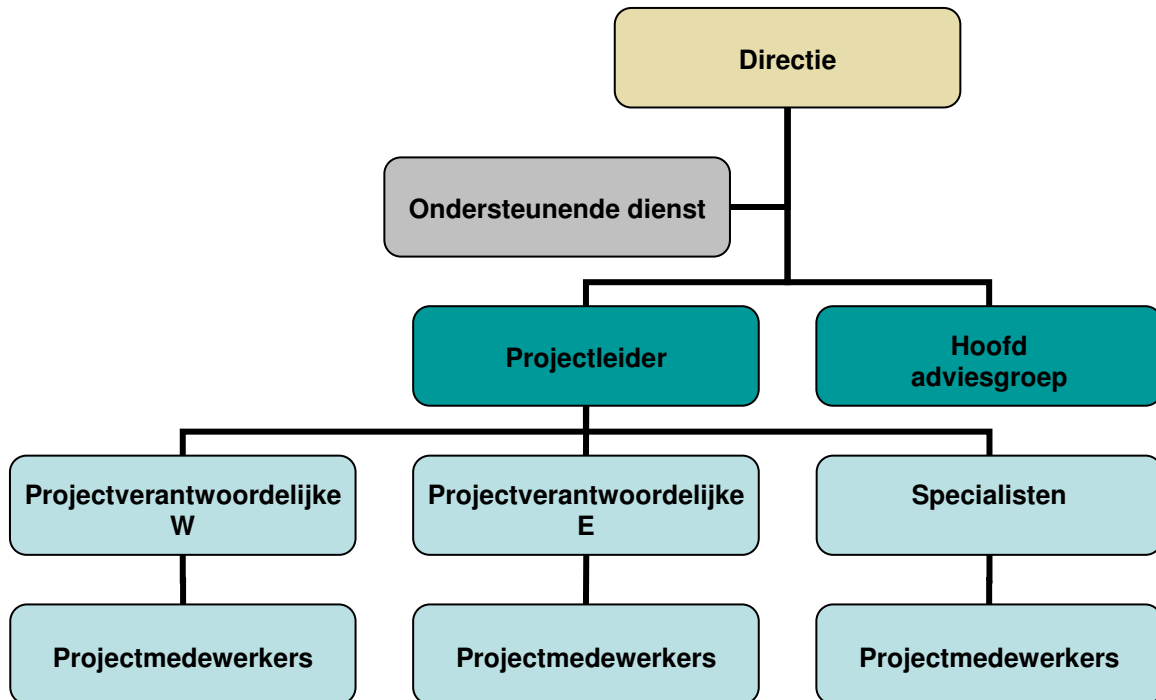
RTB Van Heugten is op 1 juli 2005 overgenomen door Royal Haskoning. De overname van RTB Van Heugten past in het beeld van Royal Haskonings doelstelling om tot de top in haar marktsegmenten te behoren. Royal Haskoning heeft wereldwijd 51 vestigingen.

RTB Van Heugten heeft drie vestigingen in Nederland. Deze vestigingen liggen in Nijmegen, Rotterdam en Groningen. De organisatiestructuur wordt in figuur 1 weergegeven.



Figuur 1: Organisatieschema

Het hoofdkantoor en de directie van RTB Van Heugten zijn gevestigd in Nijmegen. Ook Royal Haskoning is in het gebouw in Nijmegen getrokken. De afstudeerperiode zal in Nijmegen plaatsvinden op de afdeling Utiliteit & industrie. Nijmegen heeft twee adviesgroepen. Dit zijn Gezondheidszorg en Utiliteit & Industrie.



Figuur 2: Organisatieschema adviesgroepen RTB Van Heugten Nijmegen

De ondersteunende diensten zijn onder andere: personeelszaken, interne dienst en automatisering. Op de afdeling Utiliteit en Industrie werken ongeveer dertig mensen. Binnen deze afdeling zijn er verschillende functies waaronder: specialisten, projectleiders, technici, aankomend technici en regeltechnici.

## Bijlage 2 WKO

### Aquifer

Kort gezegd is een aquifer een watervoerende zandlaag die bestaat uit poreus zand. De zandlaag zit gevangen tussen bijvoorbeeld twee kleilagen die ervoor zorgen dat er geen regenwater in contact komt met het bronwater, het bronwater niet naar de oppervlakte komt of in de bodem wegzakt.

In de aquifer kan door middel van een Warmte Koude Opslag (WKO) installatie energie worden opgeslagen. In de zomer is er koudevraag en een overschot aan warmte. De koude wordt uit de aquifer gepompt en de warmte wordt in de bron geladen. In de winter werkt het precies andersom. De warmte uit de zomer wordt onttrokken en het overschot aan koude wordt in de bron geladen.

In de meeste delen van Nederland bevat de bodem een ondiepe aquifer (tot 100 meter diep). Alleen in gebieden als Zuid Limburg, het oosten van Overijssel, Gelderland, delen van Groningen en Friesland is de bodem ongeschikt. Deze gebieden zijn gearceerd in figuur 3.

Een aquifer alleen is niet voldoende om een WKO installatie toe te kunnen passen. Er zijn een aantal criteria waar de poreuze zandlaag aan moet voldoen:

- de watervoerende laag moet zich op een diepte tot 200 meter bevinden
- de zandlaag moet voldoende water doorlatend zijn
- de zandlaag moet een minimale dikte van 10 meter hebben
- de grondwaterstroming mag niet groter zijn dan 25 meter per jaar
- de bron mag niet in aanraking komen met watergebieden met verziltinggevaar en waterwinzones



Figuur 3: Geschiktheid bodemopslag

Niet iedere grond is daarom geschikt voor de installatie.

De dieptes van de geschikte aquifers verschillen. Voordat een project gestart wordt moet daarom uitvoerig bodemonderzoek worden verricht.

Als de aquifer geschikt is voor een WKO installatie kan de bodem gebruikt worden om energie in op te slaan of te onttrekken. Om de natuur niet te verstoren is bij wet vastgelegd dat de thermische balans van de grond in stand gehouden moet worden. Het is daarom niet toegestaan om in de winter meer koude te laden als in de zomer is onttrokken. Wanneer de energiebalans verstoort is, moet extra koude of warmte worden geladen om de balans te herstellen.

De koude- en warmtevraag zijn afhankelijk van niet te voorspellen weerscondities en het gebruik van warmte en koude in het kantoorgebouw. De overheid eist daarom ook geen sluitende energiebalans over één jaar, maar een sluitende balans over vijf jaar.

Het is goed om flexibiliteit in het installatieontwerp in te bouwen om de thermische balans te kunnen beïnvloeden onafhankelijk van de weersgesteldheid.

### WKO installatie

Een WKO installatie maakt gebruik van energieopslag in de grond door middel van 'warm' of 'koud' water. Het idee achter een WKO installatie is om in de zomer opgewarmd water te laden voor gebruik en om koude te onttrekken voor koeling. In de winter werkt het precies andersom. Koude wordt dan geladen en warmte wordt onttrokken voor verwarming. Op deze manier wordt efficiënt gebruik gemaakt van energie.

Om warmte en koude op te slaan, moeten putten worden geslagen zodat het water naar de aquifer getransporteerd kan worden. Doordat het water door poreus zand wordt vastgehouden, kan het worden opgeslagen en worden onttrokken wanneer gewenst. Dit wordt gedaan met pompen die in sommige gevallen met een debiet van 300 m<sup>3</sup>/h vanaf 200 meter diep het water injecteren of oppompen.

In het project wordt gebruik gemaakt van een doublet systeem. Dit systeem maakt gebruik van twee verschillende bronnen die het liefst zo ver mogelijk uit elkaar staan. Dit omdat het water van de warme bron niet met het water van de koude bron mag mengen (thermische kortsluiting).

De exacte werking van een doublet systeem met warmtepomp wordt uitgelegd in de paragraaf 'Doublet systeem'.

Naast een doublet systeem is het ook mogelijk om met een monobron te werken. In deze situatie wordt gebruik gemaakt van twee bronnen boven elkaar. De warme en koude bron worden dan boven elkaar gepositioneerd met een scheidingslaag ertussen. Hoe dit exact werkt is uitgelegd in de paragraaf 'Monobron'.

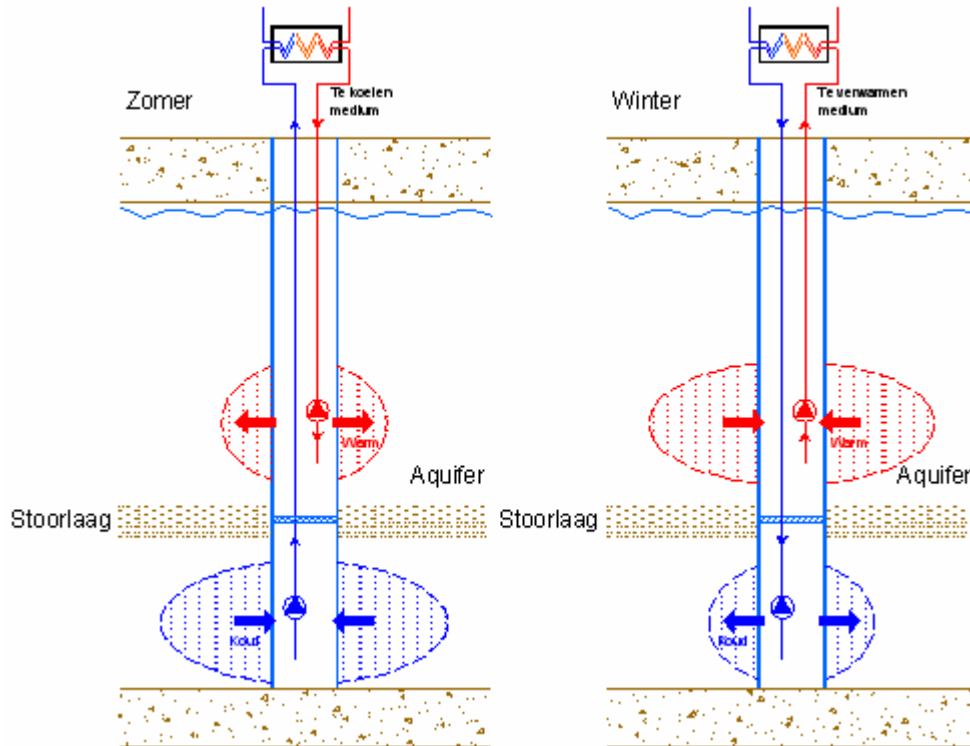
Er zijn verschillende uitvoeringen mogelijk met WKO installaties door te combineren met conventionele systemen. Het systeem kan bijvoorbeeld extra zijn uitgerust met een ketel voor extra verwarming of met een koeltoren of drogekoeler voor extra koeling. De drogekoeler kan ook gebruikt worden om warmte in te vangen.

De tabel hieronder geeft aan welke uitvoeringen er zijn in combinatie met een doublet systeem.

| Systeem                  | Mogelijkheid         | Koelcapaciteit | Geschikt vanaf |
|--------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Doublet                  | Koelbatterij         | 630 kW         | 300 kW         |
| Doublet                  | Koeltoren / DK       | 1.200 kW       | 400 kW         |
| Doublet + KM             | Koelbatterij         | 1.200 kW       | 700 kW         |
| Doublet + KM             | Koeltoren / DK       | 2.000 kW       | 1.000 kW       |
| Doublet + KM             | Oppervlaktewater     | Variabel       | 1.000 kW       |
| Doublet + KM             | WP                   | 3.700 kW       | 300 kW         |
| Doublet + KM             | WP en Koelbatterij   | 1.100 kW       | 600 kW         |
| Doublet + KM             | WP en Koeltoren / DK | 5.000 kW       | 1.000 kW       |
| Doublet met absorptie KM | Absorptie KM         | 730 kW         | 700 kW         |

Tabel 1: Verschillende koelmogelijkheden doublet systeem

### Monobron



Figuur 4: Monobron in zomer- en wintersituatie

Bij een monobron wordt in tegenstelling tot een doublet systeem maar één bron gebruikt. In deze situatie wordt het warme en koude water boven elkaar opgeslagen. Dit is mogelijk door in de aquifer gebruik te maken van een zogenoemde stoorlaag, wat een grondlaag is die een scheidelingslaag tussen het warme en koude water is.

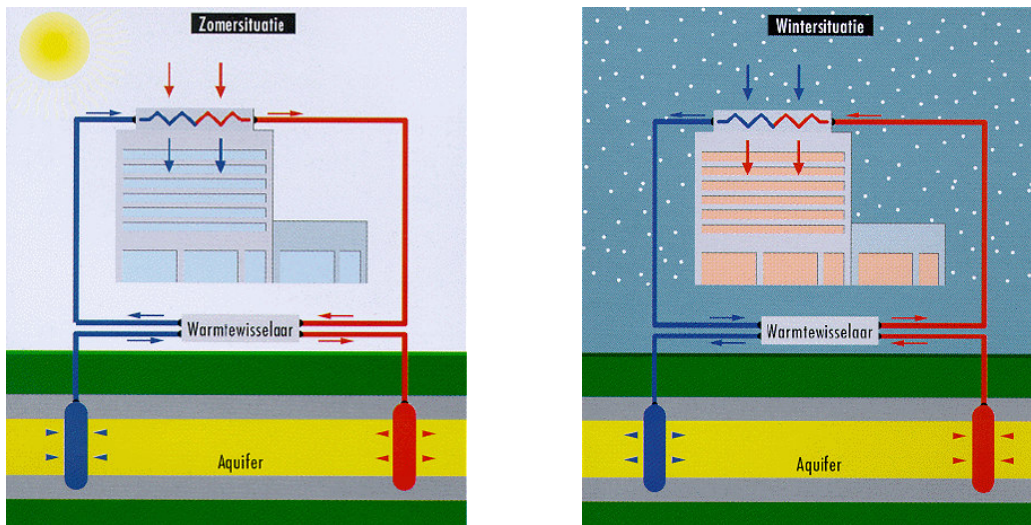
Indeling van opslagsystemen:

- 0-350 kW monobronsystemen
- 350-2000 kW doubletsystemen

Het voorafgaande geldt onder voorwaarde van een geschikte bodemgesteldheid. Rond Amsterdam is de bodemgesteldheid gunstig; een monobronsysteem van 350 kW en een doublet systeem van 2000 kW zijn daar mogelijk. Op veel andere plaatsen zijn de capaciteiten geringer.

De rentabiliteit van systemen hangt sterk af van de specifieke projectkenmerken. Hierbij te denken aan de aanwezigheid van elektriciteit, gas en aansluiting op het riool. Als deze niet aanwezig zijn moeten extra voorzieningen getroffen worden die extra kosten met zich meebrengen.

### Doublet systeem



Figuur 5: Zomersituatie en wintersituatie (bron: Vito)

In figuur 5 is een doublet systeem te zien. Een doublet systeem bestaat uit twee bronnen waarbij de ene bron gebruikt wordt voor opslag van koud water en de andere bron voor warm water. Als water wordt opgeslagen wordt dit ook wel infiltreren genoemd.

Bij een doublet uitvoering wordt gebruik gemaakt van twee bronnen die het liefst zo ver mogelijk uit elkaar staan, zodat de temperatuur uit de koude en warme bron elkaar niet kunnen verstoren. Het systeem is geschikt tot maximaal 300 m<sup>3</sup>/h.

**Warmtepomp / koelmachine**

Een warmtepomp werkt in principe hetzelfde als een koelmachine. Maar het hoofddoel van de koelmachine is om te koelen en bij de warmtepomp is het hoofddoel koelen én verwarmen. Een koelmachine en warmtepomp onttrekken beide warmte op een laag temperatuurniveau en geven die warmte weer af op een hoger temperatuurniveau. De warmte bij een koelmachine wordt meestal 'weggekoeld' door middel van een drogekoeler of koeltoren. Van deze warmte kan ook nuttig gebruik worden gemaakt. Door de warmte te onttrekken en deze door middel van een compressor op een hogere temperatuur te brengen kan bijvoorbeeld het CV-net verwarmd worden. Dit gebeurt door middel van een warmtepomp.



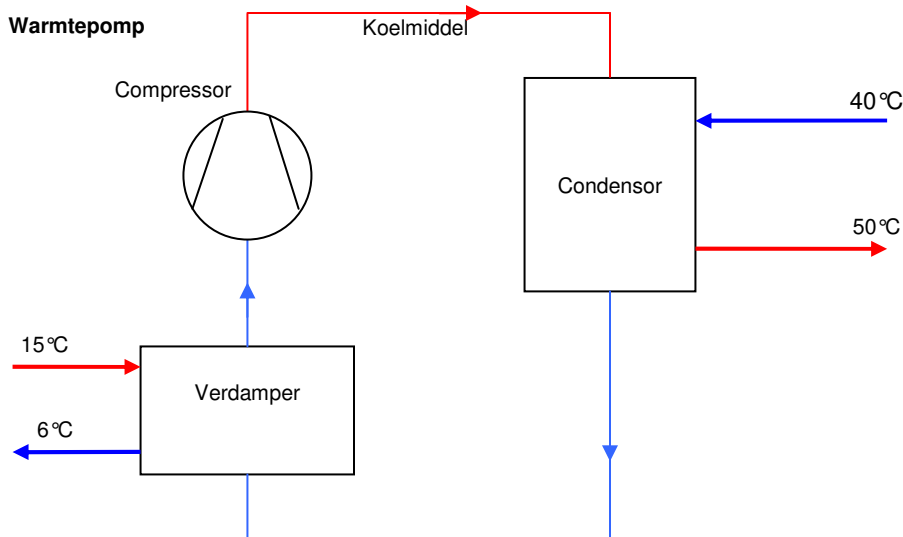
Figuur 6: Warmtepomp / koelmachine (bron: Carrier)

De techniek die het meest gebruikt wordt is de compressiewarmtepomp die gebruik maakt van een compressor. Er bestaan ook absorptie warmtepompen. Dit type verbruikt minder elektriciteit, omdat geen compressor nodig is. Beide systemen worden in figuur 7 en 8 aan de hand van een principe schema uitgelegd.

Warmtepompen verbruiken minder energie ten opzichte van de conventionele koel- of verwarmingsinstallatie omdat gebruik kan worden gemaakt van beschikbare energie uit het milieu (bijvoorbeeld koud oppervlaktewater of grondwater) of energiestromen binnen een bedrijf die anders verloren gaan (bijvoorbeeld de energie uit koelwater). In het geval met een WKO installatie haalt de warmtepomp de energie uit ondergrondse waterbronnen.

### Compressie warmtepomp / koelmachine

Om de warmte van de warme bron te kunnen gebruiken, moet de warmtepomp worden gebruikt. Het warme water uit de warme bron heeft temperatuur van ongeveer 15 °C. Het water wordt door de verdamper van de warmtepomp gevoerd en afgekoeld. Het koudemiddel wordt vervolgens op druk gebracht waarbij een hogere temperatuur ontstaat. De hoge temperatuur wordt vervolgens gebruikt om het CV water op te warmen. Bijvoorbeeld water van 15 °C wordt naar 6 °C afgekoeld. Afhankelijk van het debiet, het rendement van de warmtepomp en de retourtemperatuur van het CV water wordt het water opgewarmd naar een ingestelde waarde. Hoe dit werkt wordt in figuur 7 schematisch weergegeven.



Figuur 7: Principeschema warmtepomp

De werking van een warmtepomp komt altijd op hetzelfde principe neer:

Koelvloeistof met een kookpunt lager dan de omgevingstemperatuur werkt als transportmiddel van energie. Onder invloed van het te koelen medium verdampt deze vloeistof waardoor het een koelend effect heeft.

De verdampte vloeistof wordt vervolgens door de compressor aangezogen en samengeperst. Hierdoor stijgt de druk en de temperatuur van de damp.

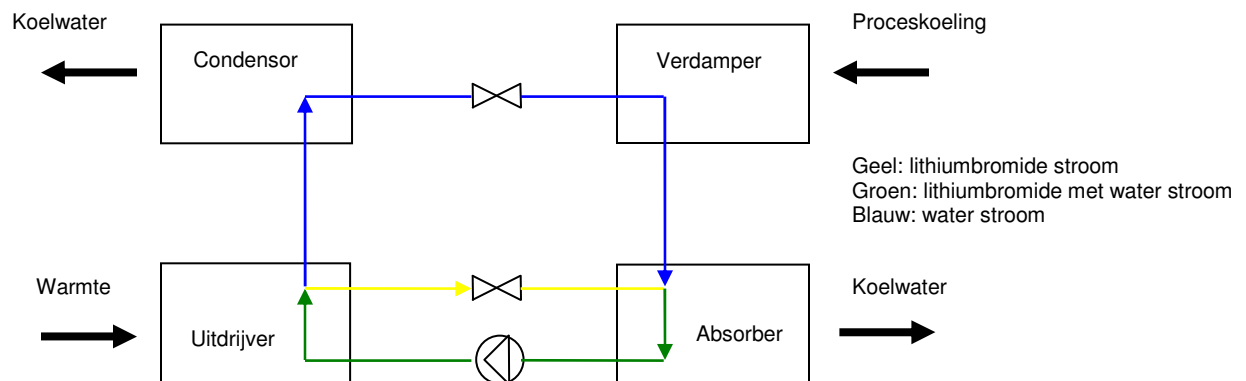
Uiteindelijk wordt de warmte van de damp onttrokken door de warmtevrager. Het water aan de uitgaande zijde stijgt in temperatuur. De vloeistofdamp daalt vervolgens in temperatuur tot het weer condenseert tot vloeistof.

### Absorptie warmtepomp / koelmachine

Onder absorptie wordt verstaan 'opnemen'. Koelmachines gebruiken in meeste gevallen lithiumbromide als absorptiemiddel en water als koudemiddel. Lithiumbromide wordt gebruikt, omdat het gemakkelijk water aantrekt. In het absorptieproces wordt koudemiddel door absorptiemiddel geabsorbeerd. Door het aantrekken van het koudemiddel wordt warmte onttrokken. Het proces speelt zich af in een gesloten kringloop.

De kringloop gaat als volgt:

Het absorptiemiddel in de absorber neemt het koelmiddel op en wordt door middel van een absorptiepomp getransporteerd naar de uitdrijver, waar het koelmiddel onder toevoer van thermische energie wordt uitgedreven. Het absorptiemiddel stroomt vervolgens terug naar de absorber. De waterdamp condenseert vervolgens met behulp van koelwater en stroomt terug naar de verdamper. Een verschil met een 'gewone' koelmachine is dat damp uit de verdamper niet door een compressor maar door een absorptiepomp wordt aangezogen.

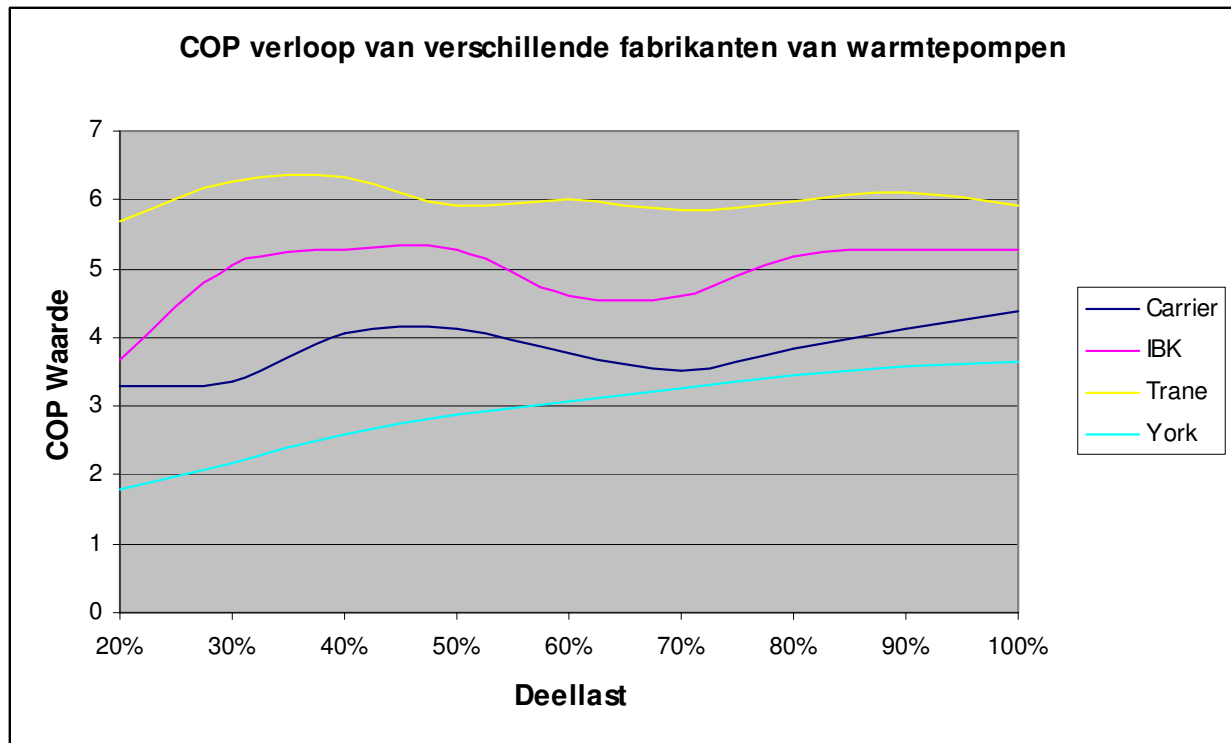


Figuur 8: Principeschema absorptiewarmtepomp

In principe werkt een absorptiewarmtepomp hetzelfde als een absorptiekoelmachine. Verschil hier is dat in plaats van het absorptiemiddel lithiumbromide water wordt gebruikt en dat als koudemiddel ammoniak in plaats van water wordt gebruikt. In deze situatie is het water het absorptiemiddel en het ammoniak het koudemiddel. Ammoniak wordt gebruikt omdat het gemakkelijk in water oplost en op kamertemperatuur gasvormig is. In het absorptieproces wordt ammoniak door water geabsorbeerd. Het absorptiemiddel in de absorber neemt het koelmiddel op en wordt door middel van een pomp getransporteerd naar uitdrijver, waar het koelmiddel onder toevoer van thermische energie wordt uitgedreven. Het absorptiemiddel stroomt vervolgens terug naar de absorber. Het koelmiddel condenseert met behulp van koelwater en stroomt vervolgens terug naar de verdamper.

### Eigenschappen verschillende fabrikanten

Er zijn verschillende fabrikanten van warmtepompen waardoor warmtepompen verschillende eigenschappen hebben. Omdat elke fabrikant zijn warmtepompen op een andere manier opbouwt (door gebruik van verschillende compressoren en regelingen), kunnen COP waarden verschillen.



Figuur 9: COP karakteristieken fabrikanten

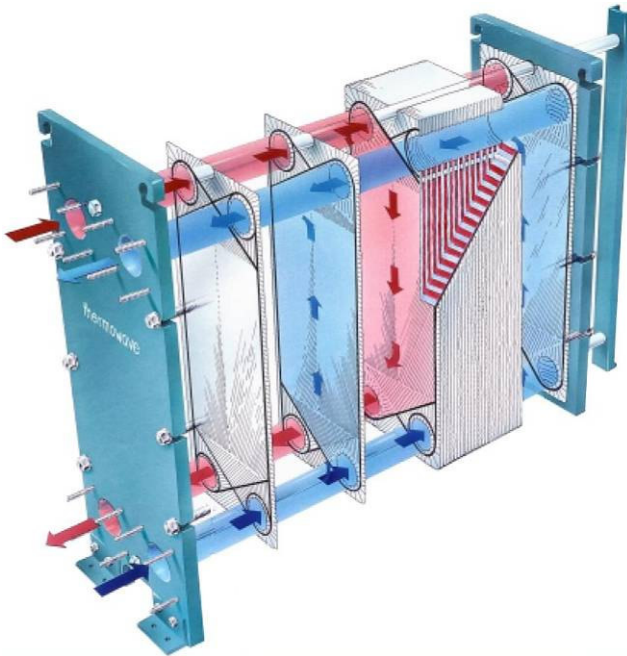
In figuur 9 zijn vier fabrikanten van warmtepompen weergegeven. De deellast is uitgezet tegen de COP. Het is niet zo dat Trane warmtepompen maakt die de hoogste COP waarden heeft, maar om een duidelijk beeld te vormen van de karakteristiek zijn de lijnen weergegeven bij verschillende ingangstemperaturen. De COP waarden zijn afhankelijk van de ingangstemperatuur van de verdamper en uitgangstemperatuur van de condensor. De lijn karakteristiek per fabrikant is bij verschillende ingangstemperaturen gelijk.

Het valt op dat bij de fabrikanten IBK, Trane en Carrier eerst een kleine toename is en daarna iets 'golvend' is. Dit komt doordat meerdere compressoren worden gebruikt. De warmtepompen van York hebben juist een hoge COP bij hogere deellasten.

Het is bij het verbeteren van het proces belangrijk dat gekeken wordt op welke deellast wordt gedraaid. Als het blijkt dat de warmtepomp niet harder werkt dan 30% gedurende een periode is het verstandig om een warmtepomp te gebruiken die vooral bij lagere deellasten een hoge COP waarde heeft.

**Warmtewisselaar (tegenstroom apparaat)**

Van het warmtewisselende principe wordt gebruikgemaakt als tussen twee stromende media warmte wordt uitgewisseld. In een tegenstroom apparaat (TSA) wordt zo volledig mogelijk gebruik gemaakt van de beschikbare warmte of koude. Het afkoelende water in kanaal 1 ontmoet tegen het einde van het warmtewisselende oppervlak van het apparaat nog steeds belangrijk kouder of warmer water in kanaal 2 dat net met opwarmen of afkoelen begint. Bij maximale efficiëntie van de warmte-uitwisseling is bijna alle warmte van kanaal 1 overgedragen op kanaal 2 na doorgang door het apparaat. Bij een zo klein mogelijke  $\Delta T$  is het warmtewisselende oppervlak van het apparaat groot. Dit brengt grote investeringskosten met zich mee. Een voorbeeld van een warmtewisselaar staat weergegeven in figuur 10.



Figuur 10: TSA 'platenwisselaar' (bron: Güntner)

### **Toevoegingen aan de WKO installatie**

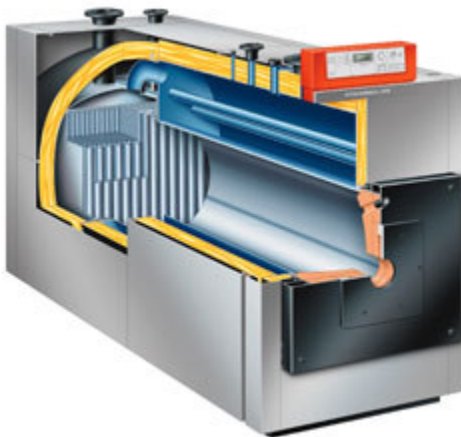
Een WKO installatie bestaat niet alleen uit een bron en warmtepomp. Een vuistregel stelt dat de warmtepomp normaliter uitgelegd moet worden op ongeveer 50% van het totaal benodigd vermogen, omdat dit vermogen 90% van de tijd vereist is. De pieken in de verwarming worden opgevangen door een ketel, een andere mogelijkheid is stadsverwarming.

Als de warmtepomp zijn warmte niet aan de warme bron kan afstaan moet de warmte worden afgevoerd. Deze warmte wordt vaak door middel van een drogekoeler of een koeltoren 'weggekoeld'. De drogekoeler kan in de winter de koude bron extra laden, of vrije koeling leveren. Een andere functie is dat de drogekoeler, bij een buitentemperatuur boven de 17°C, de warme bron kan laden.

### **Ketel**

De warmte kan worden geleverd door een Hr-ketel (hoogrendementsketel). Een Hr-ketel maakt het mogelijk een rendement van 109% te leveren. Dit hoge rendement is te danken aan het gebruiken van condensatiewarmte. Gronings aardgas heeft een energetische waarde van 31,65 MJ/m<sup>3</sup>. Omdat het rendement 109% is, ligt de maximale energetische waarde theoretisch op 34,49 MJ/m<sup>3</sup>. Deze waarde komt vervolgens overeen met een theoretisch maximaal warmtevermogen van 9.58 kW/m<sup>3</sup> aardgas.

In praktijk zal men zien dat de maximale waarde niet altijd bereikt wordt. Het rendement is afhankelijk van het ontwerp van de ketel en van de stook- en aanvoertemperatuur. De meeste fabrikanten van Hr-ketels voldoen aan het HR-107 keurmerk, wat inhoudt dat het rendement altijd boven de 96% ligt. De ketel kan met een 50/30 verwarmingsnet een rendement van 109% halen.



Figuur 11: Hr-ketel (bron: Viessmann)

Figuur 11 geeft een doorsnede tekening weer van een Hr-ketel van de fabrikant Viessmann. Deze ketel is geschikt voor een maximaal vermogen tot 978 kW en kost voor een vermogen van 500 kW rond de 15.000,- euro.

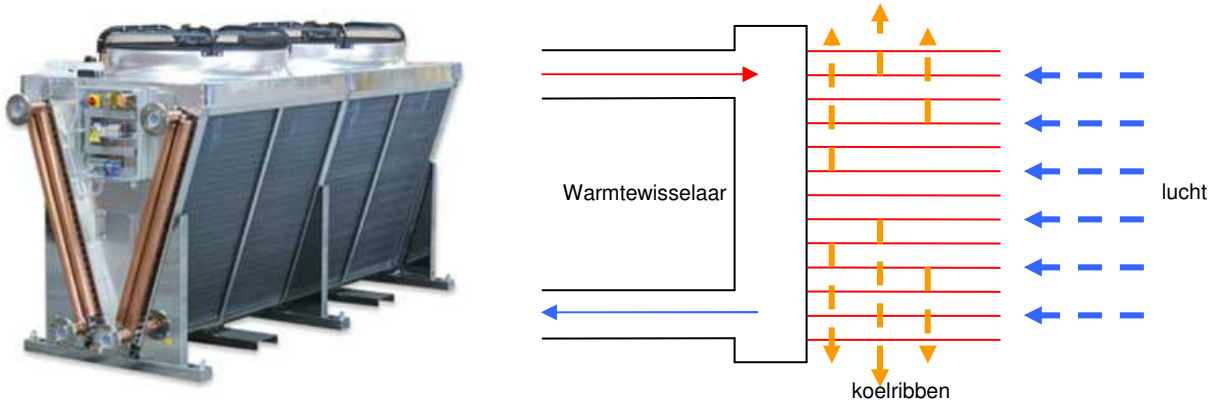
### Stadsverwarming

Als weinig warmte nodig is en er bijvoorbeeld geen ruimte is om een ketel te plaatsen, is het mogelijk om een aansluiting te nemen op stadsverwarming als deze aanwezig is. In veel gevallen maakt stadswarmte gebruik van restwarmte van elektriciteitscentrales, maar ook geothermie en de warmte van afvalverbranders wordt gebruikt. Het nadeel van dit systeem is een groot verlies van warmte tijdens transport.

### Drogekoeler

Een drogekoeler bevat een warmtewisselaar, koelribben en een ventilator. Een voorbeeld hiervan staat in figuur 12.

De koelribben worden warm doordat een warme stroom door de warmtewisselaar stroomt. De warme stroom koelt af doordat een ventilator lucht langs de koelribben blaast waardoor warmte opgenomen en afgevoerd wordt.



Figuur 12: Drogekoeler en principeschema

Om lucht te verplaatsen is soms een grote ventilator nodig die veel vermogen vraagt. Ook veroorzaakt een grote luchtstroom geluidsproblemen.

Het voordeel van een drogekoeler is dat het een relatief simpele installatie is om aan te leggen en niet veel oppervlak in gebruik neemt. Meestal zijn drogekoelers te vinden op de daken van gebouwen. Rekening moet gehouden worden met het geluidsvermogen van de drogekoelers. In zones rond industrieterreinen en in woonwijken mag overdag de wettelijke geluidsbelasting van 50 dB(A) niet overschreden worden. Natuurlijk zijn uitzonderingen op deze wet toegestaan. Nadeel van deze geluidsbelasting is de afmeting van de koelers. Hoe lager het geluidsvermogen hoe groter de drogekoeler wordt. Dit omdat bij kleinere ventilatoren een groter luchtdebiet gecreëerd wordt door hogere toerentallen. Dit zorgt ervoor dat meer geluid geproduceerd wordt.

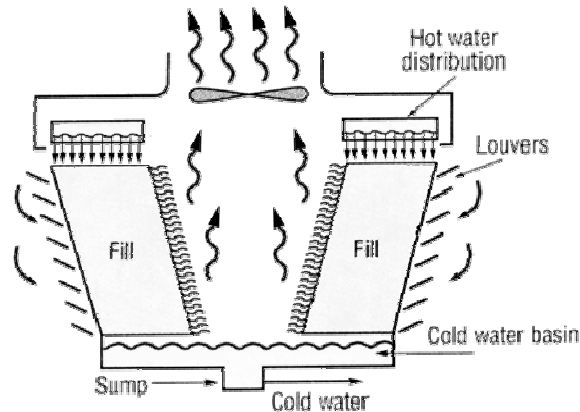
### Koeltoren

Een koeltoren is een toren die dient om warmte af te voeren. Het af te koelen water stroomt aan de binnenzijde van de toren omlaag en kan daarbij warmte met de omgevingslucht uitwisselen. Een koeltoren werkt volgens het verdampingsprincipe. Door te verdampen, ontrekt het water energie.

Een voorbeeld van een koeltoren is een koeltoren van een kernreactor. Op de afbeelding hieronder is te zien dat water verdampt.



Figuur 13: Koeltoren



Figuur 14: Principeschema koeltoren

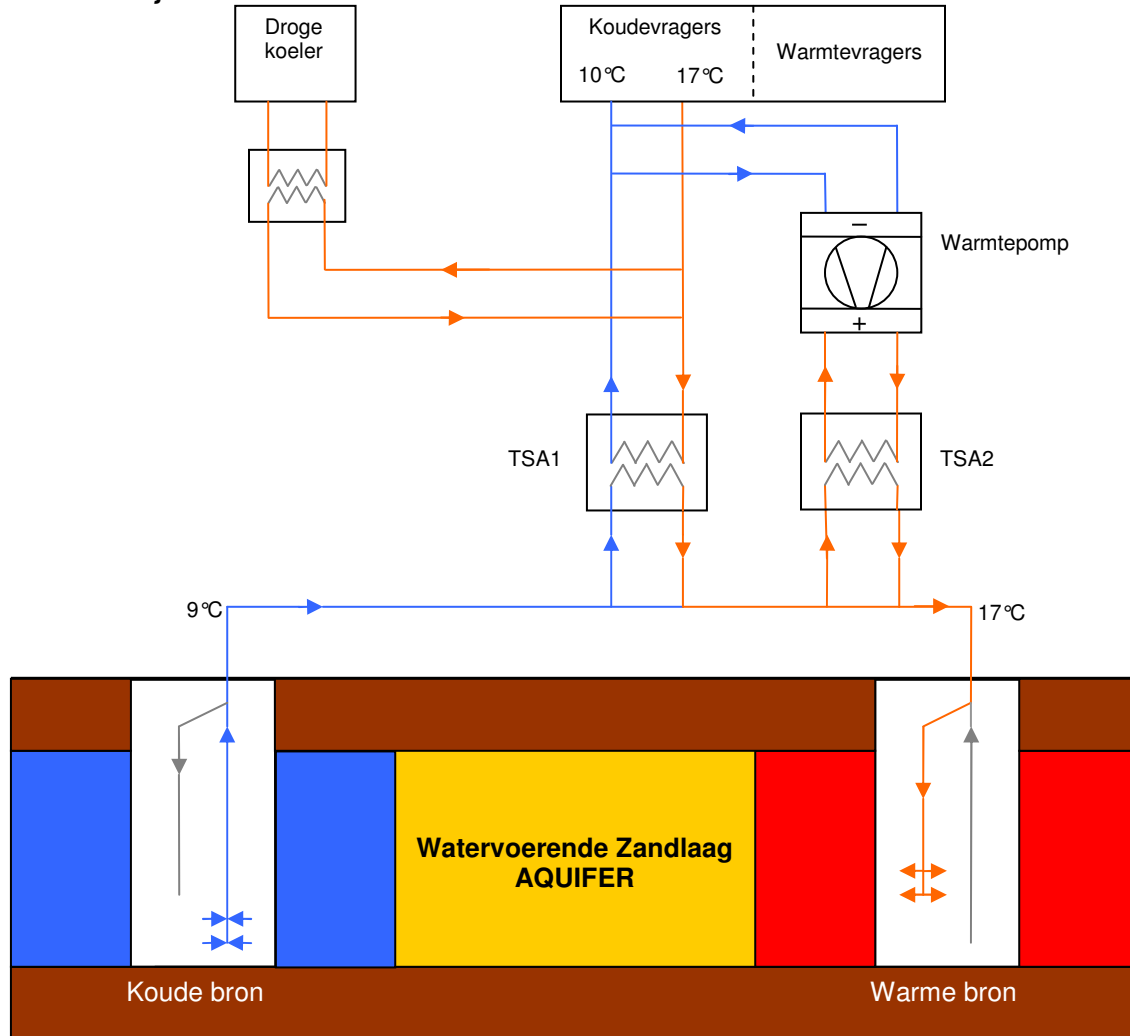
Koeltorens bij kantoorgebouwen zijn kleiner dan op figuur 13 en werken volgens het principe zoals in het schema van figuur 14 is te zien.

In het principeschema is te zien dat er warm water van bovenaf aangevoerd wordt en naar beneden stroomt. Het afgekoelde water komt onderin het bassin terecht en kan worden geloosd. Een koeltoren heeft vaak chemische addities in het koelwater om het ontstaan van legionella tegen te gaan.

### Werking van een doublet systeem in combinatie met een warmtepomp

Hieronder wordt door middel van een schematische tekening uitgelegd hoe een WKO installatie werkt tijdens de zomer en winter.

#### Zomerbedrijf



Figuur 15: Principeschema doublet systeem 'Zomerbedrijf'

In het schema van figuur 15 staat de zomersituatie van een doublet WKO in combinatie met drogekoeler en warmtepomp weergegeven.

Het systeem werkt als volgt:

1. Het koude water wordt uit de koude bron opgepompt.
2. Het koude water gaat naar TSA1 die in verbinding staat met de warmtepomp en met het GKW-net.
3. Meestal is de koudevraag kleiner dan het aanbod van het bronsysteem en staat de warmtepomp uit. Het kan zo zijn dat de koudevraag groter is dan het aanbod. De warmtepomp onttrekt dan extra warmte aan het water waardoor het uiteindelijk met een temperatuur van 10°C het klimaatinstallatie van het gebouw bereikt.

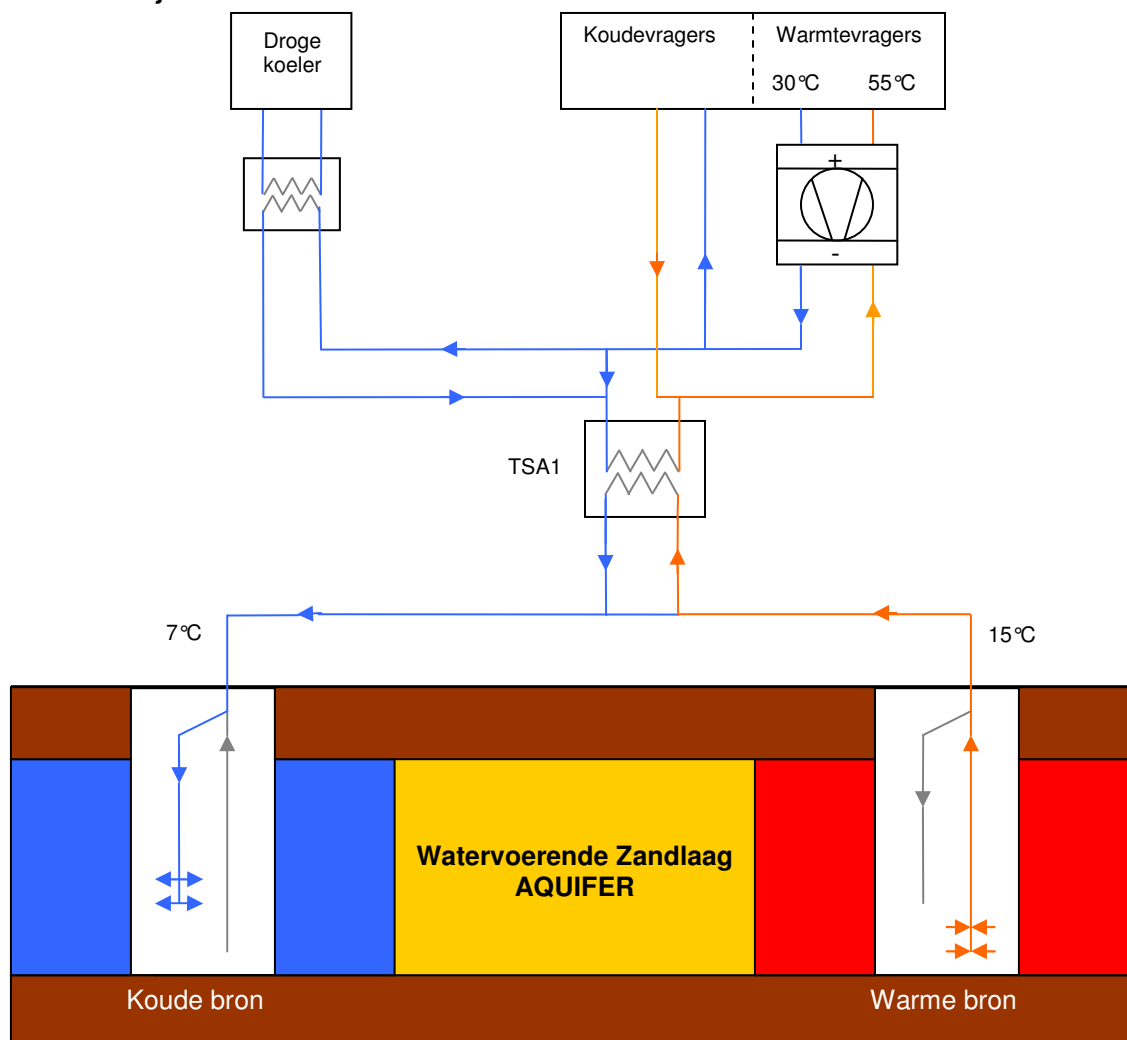
4. De retour van de koudevragers is ongeveer 17°C. Wanneer het nodig is om extra warmte in te vangen gebeurt dit door middel van de drogekoeler. Het is hier dan wel noodzaak dat de buitentemperatuur hoger is dan 19°C omdat TSA1 en de warmtewisselaar van de drogekoeler beide een  $\Delta T$  1K hebben.
5. Als de warmtepomp extra koude maakt wordt er ook warmte geproduceerd. De gegenereerde warmte door de warmtepomp wordt door middel van TSA2 afgestaan aan het bronsysteem.
6. Door middel van TSA1 en/of TSA2 bereikt de warme stroom de warme bron, waar het water van ongeveer 17°C wordt opgeslagen voor gebruik in de winter.

De drogekoeler kan bij deze regeling worden ingezet om de koude stroom verder af te koelen. In de zomer is de kans groot dat de buitentemperatuur hoger ligt dan het water van de koude bron. De drogekoeler zal daarom niet of nauwelijks werken.

Wat niet is weergegeven in het schema is dat de drogekoeler ook aan de condensorzijde van de warmtepomp is aangesloten. In geval van een storing van de bron kan de drogekoeler de ontstane warmte volledig 'wegkoelen' zodat het systeem in bedrijf kan blijven.

De drogekoeler kan in de zomersituatie ook worden ingezet om extra warmte te laden in geval van een onbalans in de aquifer.

### Winterbedrijf



Figuur 16: Principeschema doublet systeem 'Winterbedrijf'

In figuur 16 is hetzelfde systeem getekend, maar dan voor de wintersituatie. TSA2 is weggelaten omdat deze in de wintersituatie niet van toepassing is.

Het systeem werkt als volgt:

1. Het warme water uit de warme bron wordt omhoog gepompt richting TSA1.
2. TSA1 onttrekt de warmte uit het bronsysteem en geeft deze af aan het distributienet. Het warme water gaat vervolgens door de verdamper van de warmtepomp waar het water wordt afgekoeld. De warmte die daarbij vrijkomt wordt aan het verwarmingsnet afgegeven.
3. Het verwarmingsnet komt bij de warmtepomp aan met een temperatuur van 30°C en wordt opgehoogd met de warmte uit de warmtepomp naar maximaal 55°C.
4. Het afgekoelde water van ongeveer 6°C wat uit de warmtepomp komt, kan vervolgens nog gebruikt worden voor bijvoorbeeld de luchtbehandeling. De retour van de koudevragers is aangesloten op de aanvoer van de warmtepomp.
5. Wanneer het water onvoldoende is afgekoeld om via TSA1 de koude bron te laden, kan de drogekoeler worden ingeschakeld om deze op gewenste temperatuur te brengen. Ervan uitgaande dat de temperatuur buiten onder de 6°C is.
6. Vervolgens wordt het afgekoelde water door TSA1 geleid en zodoende wordt het water van 15°C naar 7°C afgekoeld en in de koude bron opgeslagen voor gebruik in de zomer.

Ook bij de winterregeling kan de drogekoeler extra koude laden. Dit is alleen mogelijk bij een buitentemperatuur onder de koude bron temperatuur.

In de wintersituatie zal de warmtepomp altijd werken in tegenstelling tot de zomersituatie. Dit komt, omdat de warmte uit de warme bron eerst onttrokken moet worden, om deze op hoge temperatuur weer af te staan. De ontstane koude wordt, als het nodig is, gebruikt om de koudevragers te voeden. Mocht de situatie voordoen dat er een tekort aan koude is, kan de drogekoeler inschakelen. Dit komt voor wanneer 's nachts wel systemen gekoeld moeten worden, maar er geen verwarmingsvraag is.

### **Voor en nadelen WKO versus conventioneel koelen**

Het toepassen van een WKO installatie levert verschillende voordelen op ten opzichte van conventioneel verwarmen en koelen. Naast besparing op het energieverbruik zal ook de emissie van schadelijke stoffen afnemen.

| <b>Voordelen van WKO versus conventioneel klimaatinstallatie</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kleinere technische ruimte<br>Minder elektrisch vermogen benodigd voor koeling<br>Minder geluidsproductie<br>Korte terugverdiëntijd<br>Lager energieverbruik (elektrisch en fossiel)<br>Lagere energiekosten<br>Energie prestatie coëfficiënt wordt gunstiger<br>Gunstige milieueffecten: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Netto geen grondwateronttrekking</li> <li>– Geen thermische bodemvervuiling</li> <li>– Reductie emissie schadelijke rookgassen</li> </ul> Hogere bedrijfszekerheid |

Tabel 2: Voordelen WKO versus conventioneel klimaatinstallatie

| <b>Nadelen van WKO versus conventioneel klimaatinstallatie</b>                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Laag temperatuur verwarmen en hoog temperatuur koelen zorgen voor hogere kosten<br>Hogere investering- en onderhoudskosten<br>Complexere installatie<br>Vergunning verplicht<br>Niet overal in Nederland toepasbaar vanwege bodem ongeschiktheid<br>In bestaande gebouwen moeilijker toepasbaar |

Tabel 3: Nadelen WKO versus conventioneel klimaatinstallatie

### **Conclusie**

Ook al is de investering van een WKO installatie groter, de nadelen wegen niet op tegen de voordelen. Vanwege de hoge bedrijfszekerheid en de korte terugverdiëntijd is het gunstig om een WKO installatie te plaatsen. Dit is zeker het geval als een nieuw gebouw geplaatst wordt. Dit omdat in bestaande gebouwen er vaak een conventioneel hoge temperatuur verwarming en een lage temperatuur koelsysteem is geweest. De aanpassingen gebouwszijdig naar een WKO installatie zijn dan niet altijd mogelijk of kosten veel geld.

Een andere reden om een WKO installatie te plaatsen is omdat een WKO installatie minder energie verbruikt en er daardoor geld wordt bespaard. Rekening houdend met de in de toekomst steeds strenger wordende normen en richtlijnen is het ook verstandig, als het mogelijk is, een WKO installatie te plaatsen.

### Bijlage 3 Energie richtlijnen

De Europese Unie stimuleert het verbeteren van de energieprestaties van gebouwen in de Europese Unie. Daarom is op december 2002 de Europese richtlijn Energy Performance Building Directive (EPBD) in werking getreden. Uitwerking van de richtlijn voor de Nederlandse situatie in Nederland valt onder de verantwoordelijkheid van de minister van VROM.

De richtlijn voorziet onder andere in eisen met betrekking tot:

- Een methode voor de berekening van de energieprestatie van gebouwen.
- De toepassing van minimeisen voor de energieprestatie van nieuwe gebouwen.
- De toepassing van minimeisen voor de energieprestatie van bestaande grote gebouwen die een ingrijpende renovatie ondergaan.
- De energiecertificering van gebouwen.
- Regelmatige keuring van CV ketels en airconditioningsystemen in gebouwen en een eenmalige totale keuring van verwarmingsinstallaties waarvan de ketel ouder is dan vijftien jaar.

In Nederland bestaan al normen waarmee aan een deel van de verplichtingen wordt voldaan. De berekening van de energieprestatie en de toepassing van minimeisen voor nieuwbouw en ingrijpende renovatie verloopt sinds 1995 via de Energieprestatienormen (EPN) (NEN 2916 Utiliteitsbouw en NEN 5128 woongebouwen) in de bouwregelgeving. De Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC) is de maat voor de energiekwaliteit van een gebouw, inclusief technische installaties. Hoe lager de EPC, hoe energiezuiniger het gebouw is. De hoogte van de EPC is vastgelegd in het bouwbesluit in de vorm van een EPC eis.

Verder bestaat voor bestaande bouw het tot nu toe nog vrijwillige Energie Prestatie Advies (EPA) methode voor de woningbouw en de utiliteitsbouw. De methode is bedoeld voor het vaststellen van de energieprestatie onder standaard condities en een energieadvies met kosten en baten analyse.

Voor nieuwe gebouwen met een vloeroppervlak van meer dan 1.000 m<sup>2</sup> moet de technische, milieutechnische en economische haalbaarheid van alternatieve systemen worden nagegaan voordat er met de bouw wordt begonnen. Hierbij te denken aan systemen die gebaseerd zijn op energiebronnen zoals WKK, stadsverwarming en warmtepompsystemen.

De minimeisen voor de energieprestatie gelden niet alleen voor nieuwe gebouwen, maar ook voor bestaande gebouwen met een totaal vloeroppervlak van meer dan 1.000 m<sup>2</sup> die een ingrijpende renovatie ondergaan.

Door de invoering van EPBD dient de eigenaar vanaf 1 januari 2009 bij bouw, verkoop of verhuur een energieprestatie certificaat te overhandigen. Het certificaat dat maximaal tien jaar oud mag zijn geeft inzicht in de energetische toestand van betreffend object inclusief aanbevelingen voor verbeteringen. In openbare gebouwen vanaf 1.000 m<sup>2</sup> moet dit certificaat op een opvallende plaats worden aangebracht.

Er bestaan natuurlijk ook uitzondering op de richtlijn. Dat zijn officieel beschermde gebouwen en monumenten, kerken en moskeeën, tijdelijke gebouwen, industriepanden, werkplaatsen recreatiewoningen, alleenstaande gebouwen met een vloeroppervlak van minder dan 50 m<sup>2</sup>.

Vanaf 4 januari 2006 is Nederland verplicht de nationale wetgeving aan te passen aan de eisen van EPBD maar door kabinetsplannen wordt dit waarschijnlijk 1 januari 2007. Voor nieuwbouw wordt de EPN als berekeningsmethode en instrument gebruikt in Nederland. Voor bestaande gebouwen wordt EPA mogelijk verplicht. Ook de keuring en certificering van apparaten en processen wordt dan onderzocht.

### EPC

Voor het project is het belangrijk om te weten wat de EPC waarde voor het conventionele en het WKO gebouw is. Dit om een goed beeld te krijgen van de energievriendelijkheid van het gebouw. In het Bouwbesluit worden de EPC eisen voor de verschillende gebruiksfuncties gegeven. Deze staan in tabel 4.

| EPC eisen (utiliteitsbouw 2006) |     |
|---------------------------------|-----|
| Bijeenkomst                     | 2.2 |
| Gevangenis                      | 1.9 |
| Gezondheidszorg niet klinisch   | 1.5 |
| Gezondheidszorg klinisch        | 3.6 |
| Kantoor                         | 1.5 |
| Logies                          | 1.9 |
| Onderwijs                       | 1.4 |
| Sport                           | 1.8 |
| Winkel                          | 3.4 |

Tabel 4: EPC eisen utiliteitsbouw (bron: SenterNovem)

Met het programma EP Varianten V2.3 is de EPC waarde van het kantoorgebouw berekend. EP Varianten V2.3 is gemaakt door het SenterNovem om gebruikers een zo nauwkeurig en betrouwbaar mogelijke EPC berekening te laten maken.

Aan de energieprestatie-eis wordt voldaan als:

- De EPC van een gebouw niet hoger is dan de EPC eis
- Het totale energiegebruik ( $Q_{\text{pres; totaal}}$ ) niet hoger is dan het genormeerde energiegebruik ( $Q_{\text{pres; toelaatbaar}}$ ), of:  $Q_{\text{pres; totaal}} / Q_{\text{pres; toelaatbaar}} < 1,00$ .

$$EPC_{\text{gebruiksfunctie}} = \frac{Q_{\text{pres, tot}}}{Q_{\text{pres, toel}}} \cdot EPC_{\text{eis, gebruiksfunctie}}$$

Hieruit volgt dat voor de gebruiksfunctie geldt  $Q_{\text{pres; tot}} / Q_{\text{pres; toel}} < 1,00$  voldaan wordt aan de vereiste EPC. Conventioneel is de  $Q_{\text{pres; tot}} / Q_{\text{pres; toel}}$  0,93, dat betekent dat de EPC 7% beter is dan het Bouwbesluit vereist. Vervolgens wordt de  $EPC_{\text{gebruiksfunctie}} 0,93 \cdot 1,5 = 1,39$ .

EP Varianten - [kantoor 15000 m2]

Bestand Variant Resultaten Help

Omschrijving variant Q/Q forf. [E/m²GO] eigen [E/m²GO]

Conventioneel (raampercentage gevel 35%) 0,93 550,55 550,55

Project Indeling Bouwkundig Binnenklimaat Inst. W1 Inst. W2 Inst. E Warmtapwater/zonne-energie

Omschrijving project kantoor 15000 m2

Omschrijving variant Conventioneel (raampercentage gevel 35%)

Bestand P:\PROJECT\Afstuderen\WKD.epv

Aangemaakt op 23-10-2006 door DSR

Laatst gewijzigd op 23-10-2006 door DSR

Binnenklimaat ☒ De berekeningsmodule "Binnenklimaat" is optioneel. Hiermee kan een indicatie worden verkregen van het binnenklimaat, in de vorm van de verwachte mate van temperatuuroverschreiding (TO).

Notitie

Qpres.totaal [MJ] 8058957

Qpres.toelaatbaar [MJ] 8667750

Q/Q 0,93

EPC Kantoorfunctie 1,39

| Kosten           | forf.    | eigen    |
|------------------|----------|----------|
| Onderdeel        | [E/m²GO] | [E/m²GO] |
| Gevel            | 51,46    |          |
| Dak              | 9,34     |          |
| Vloer            | 4,26     |          |
| Ramen            | 55,59    |          |
| Zonwering        | 17,77    |          |
| Warmte-opwekking | 2,95     |          |
| Koude-opwekking  | 17,98    |          |
| Installatie      | 348,74   |          |
| Ventilatoren     | 1,54     |          |
| Warmterugwinning | 4,61     |          |
| Bevochtiging     | 1,90     |          |
| Verlichting      | 28,91    |          |
| Warmtapwater     | 5,50     |          |
| PV-cellen        | 0,00     |          |
| Zonnecollectoren | 0,00     |          |
| Totale kosten    | 550,55   | 550,55   |

Figuur 17: EPC berekening conventioneel

EP Varianten - [kantoor 15000 m2]

Bestand Variant Resultaten Help

Omschrijving variant Q/Q forf. [E/m²GO] eigen [E/m²GO]

WKD (raampercentage gevel 35%) 0,79 574,80 574,80

Project Indeling Bouwkundig Binnenklimaat Inst. W1 Inst. W2 Inst. E Warmtapwater/zonne-energie

Omschrijving project kantoor 15000 m2

Omschrijving variant WKD (raampercentage gevel 35%)

Bestand P:\PROJECT\Afstuderen\WKD.epv

Aangemaakt op 23-10-2006 door DSR

Laatst gewijzigd op 23-10-2006 door DSR

Binnenklimaat ☒ De berekeningsmodule "Binnenklimaat" is optioneel. Hiermee kan een indicatie worden verkregen van het binnenklimaat, in de vorm van de verwachte mate van temperatuuroverschreiding (TO).

Notitie

Qpres.totaal [MJ] 6889754

Qpres.toelaatbaar [MJ] 8667750

Q/Q 0,79

EPC Kantoorfunctie 1,19

| Kosten           | forf.    | eigen    |
|------------------|----------|----------|
| Onderdeel        | [E/m²GO] | [E/m²GO] |
| Gevel            | 51,46    |          |
| Dak              | 9,34     |          |
| Vloer            | 4,26     |          |
| Ramen            | 55,59    |          |
| Zonwering        | 17,77    |          |
| Warmte-opwekking | 19,14    |          |
| Koude-opwekking  | 26,03    |          |
| Installatie      | 348,74   |          |
| Ventilatoren     | 1,54     |          |
| Warmterugwinning | 4,61     |          |
| Bevochtiging     | 1,90     |          |
| Verlichting      | 28,91    |          |
| Warmtapwater     | 5,50     |          |
| PV-cellen        | 0,00     |          |
| Zonnecollectoren | 0,00     |          |
| Totale kosten    | 574,80   | 574,80   |

Figuur 18: EPC berekening WKD

Hieruit volgt dat voor de gebruiksfunctie geldt  $Q_{pres; tot} / Q_{pres; toel} < 1,00$  voldaan wordt aan de vereiste EPC. Bij een WKO is de  $Q_{pres; tot} / Q_{pres; toel}$  0,79, dat betekent dat de EPC 21% beter is dan het Bouwbesluit vereist. Vervolgens wordt de EPCgebruiksfunctie  $0,79 * 1,5 = 1,19$ .

Bij beide berekeningen is uitgegaan van een kantoorgebouw van 15.000 m<sup>2</sup> en een raampercentage van 35%.

**Conclusie**

Uit beide berekeningen kan worden geconcludeerd dat beide systemen voldoen aan de EPC eis. Wel is het zo dat de EPC bij een WKO installatie beter is dan bij een conventionele installatie. Als de eisen verder worden aangescherpt kan het zijn dat een conventionele installatie niet meer voldoet aan de eis. Omdat de energiekwaliteit van een WKO installatie hoger ligt dan een conventionele installatie is het verstandig om voor de WKO installatie te kiezen.

## Bijlage 4 Kosten

Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen de WKO- en de conventionele installatie is het noodzakelijk dat de investeringskosten zo nauwkeurig mogelijk worden berekend. Door middel van offertes bij verschillende fabrikanten van koelmachines, warmtepompen, drogekoelers, ketels en warmtewisselaars en het programma InstallOffice versie 7.03, ook wel Kostenmanagement genaamd, is getracht een zo nauwkeurig mogelijk indicatie van de installatiekosten te geven. InstallOffice is een programma waarmee Van Heugten kostenindicaties maakt door gebruik te maken van kostenkengetallen die al 15 jaar worden bijgehouden in een centrale database. Elk halfjaar worden de meest recente prijzen van fabrikanten in het systeem geladen.

### Conventionele installatie

In de onderstaande tabellen is de conventionele installatie opgedeeld in distributieleiding CV en distributieleiding-gekoeldwater. In de tabellen staan de benodigde materialen, de korting daarop en de manuren die nodig zijn voor de installatie.

|                                                    |                                |
|----------------------------------------------------|--------------------------------|
| Projectnummer: <b>1000001248</b>                   | Datum: <b>10-10-2006</b>       |
| Projectnaam: <b>Conventioneel Afstudeerproject</b> | Gezien: <b>DSR</b>             |
| Projectgegevens: <b>Conventionele installatie</b>  | Wijz. datum: <b>10-10-2006</b> |

#### Distributieleiding CV

| <u>Aantal</u>                | <u>Installatiemateriaal</u>                                | <u>Mat. netto/st.</u> | <u>Mat. netto totaal</u> | <u>Manuren/st.</u> | <u>Manuren totaal</u> | <u>Stelposten</u> |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>LEIDINGWERK</b>           |                                                            |                       |                          |                    |                       |                   |
| 10                           | Buis, staal t.b.v. warmwater DN 125 (70/30%)               | 58,97                 | 589,68                   | 2,522              | 25,220                |                   |
| 2                            | Verdeler/verzamelaar DN 125                                | 239,33                | 478,65                   | 23,660             | 47,320                |                   |
| <b>KETEL</b>                 |                                                            |                       |                          |                    |                       |                   |
| 2                            | HR Ketel 500 kW prijs per kW                               | 15.000,00             | 30.000,00                |                    |                       |                   |
| <b>POMPEN</b>                |                                                            |                       |                          |                    |                       |                   |
| 2                            | Pomp DN 125 t.b.v. verwarming compleet                     | 1.676,94              | 3.353,88                 | 10,820             | 21,640                |                   |
| <b>AFSLUITERS EN KLEPPEN</b> |                                                            |                       |                          |                    |                       |                   |
| 7                            | STA-F DN 125 t.b.v. cv inst. incl. toebehoren              | 775,84                | 5.430,88                 | 3,327              | 23,287                |                   |
| 1                            | Drieweg-afsluiter                                          | 840,85                | 840,85                   |                    |                       |                   |
| 15                           | Tweeweg regelafsluiter DN 125                              | 110,74                | 1.661,13                 | 4,160              | 62,400                |                   |
| 2                            | Brons terugslagkl DN125 ubel RK41 incl. toebehoren         | 326,53                | 653,06                   | 2,667              | 5,333                 |                   |
| <b>ISOLATIE</b>              |                                                            |                       |                          |                    |                       |                   |
| 10                           | Isolatie buis, min. wol met alu. folie, DN 125 dikte 50 mm |                       |                          |                    |                       |                   |
| 10                           | Isolatieafwerking buis, kunststof mantel DN 125            |                       |                          |                    |                       |                   |
| <b>OVERIGE</b>               |                                                            |                       |                          |                    |                       |                   |
| 1                            | Buffervat, staal 2.500 liter geïsoleerd                    | 6.000,00              | 6.000,00                 | 16,000             | 16,000                |                   |
| 1                            | Lucht- en vuilafscheider t.b.v. cv installatie DN 125      | 3.458,89              | 3.458,89                 | 4,000              | 4,000                 |                   |
| 1                            | Expansie automaat Reflexomat 800L, 6 bar                   | 2.316,04              | 2.316,04                 | 30,660             | 30,660                |                   |
| 1                            | Onvoorzien (5%)                                            |                       |                          |                    |                       | 2.739,00          |
| <b>Subtotaal</b>             |                                                            |                       | <b>€ 54.783,05</b>       |                    | <b>235,860</b>        | <b>€ 2.739,00</b> |

### Distributieleiding-gekoeldwater

| <u>Aantal</u>                | <u>Installatiemateriaal</u>                                | <u>Mat. netto/st.</u> | <u>Mat. netto totaal</u> | <u>Manuren/st</u> | <u>Manuren totaal</u> | <u>Stelposten</u> |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>LEIDINGWERK</b>           |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 10                           | Buis, staal t.b.v. warmwater DN 125 (70/30%)               | 58,97                 | 589,68                   | 2,522             | 25,220                |                   |
| 4                            | Verdeler/verzamelaar DN 125                                | 239,33                | 957,30                   | 23,660            | 94,640                |                   |
| <b>KOELMACHINE</b>           |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 1                            | Compressiekoelmachine, watergekoeld 750 kW (inclusie       | 60.000,00             | 60.000,00                |                   |                       |                   |
| 2                            | Droge koeler (425 kW)                                      | 14.451,53             | 28.903,06                | 28,533            | 57,067                |                   |
| 1                            | TSA                                                        | 3.099,34              | 3.099,34                 | 11,217            | 11,217                |                   |
| <b>POMPEN</b>                |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 2                            | Pomp DN 125 t.b.v. gekoeld water compleet                  | 1.676,94              | 3.353,88                 | 10,820            | 21,640                |                   |
| 2                            | Circulatie pomp met elektrische toerenregeling             | 1.481,55              | 2.963,10                 | 6,333             | 12,667                |                   |
| <b>AFSLUITERS EN KLEPPEN</b> |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 7                            | STA-F DN 125                                               | 775,84                | 5.430,88                 | 3,327             | 23,287                |                   |
| 2                            | Drieweg-afsluiter                                          | 840,85                | 1.681,70                 |                   |                       |                   |
| 23                           | Tweeweg regelafsluiter DN 125                              | 110,74                | 2.547,07                 | 4,160             | 95,680                |                   |
| 2                            | Brons terugslagklep DN125                                  | 326,53                | 653,06                   | 2,667             | 5,333                 |                   |
| <b>ISOLATIE</b>              |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 10                           | Isolatieafwerking buis, kunststof mantel DN 125            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 10                           | Isolatie buis, min. wol met alu. folie, DN 125 dikte 50 mm |                       |                          |                   |                       |                   |
| <b>OVERIGE</b>               |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 1                            | Buffervat, staal 1.000 liter geïsoleerd                    | 4.500,00              | 4.500,00                 | 16,000            | 16,000                |                   |
| 1                            | Expansie automaat Reflexomat                               | 2.316,04              | 2.316,04                 | 30,660            | 30,660                |                   |
| 1                            | Lucht- en vuilafscheider DN 125                            | 3.458,89              | 3.458,89                 | 4,000             | 4,000                 |                   |
| 1                            | Onvoorzien (5%)                                            |                       |                          |                   |                       | 6.023,00          |
| <b>Subtotaal</b>             |                                                            |                       | <b>€ 120.453,99</b>      |                   | <b>397,410</b>        | <b>€ 6.023,00</b> |

### Totaal overzicht

| <u>Bestekdeel</u>                                | <u>Materiaal netto</u> | <u>Manuren</u> | <u>Gecorr.manuren</u> | <u>Loonkosten</u>  | <u>Stelposten</u> |
|--------------------------------------------------|------------------------|----------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Distributie warmte, koude en stoom (Stabu 60.11) | 175.237,05             | 633,27         | 633,27                | 23.003,13          | 8.762,00          |
| <b>Subtotaal bestekdelen:</b>                    | <b>€ 175.237,05</b>    | <b>633,27</b>  | <b>633,27</b>         | <b>€ 23.003,13</b> | <b>€ 8.762,00</b> |

Tabel 5: Overzicht kosten conventionele installatie

De totaalkosten van de conventionele installatie komen neer op €207.002,-. Dit bedrag zijn de materialen, loonkosten en de stelposten bij elkaar opgeteld exclusief BTW.

## WKO installatie

Projectnummer: **1000001247**  
 Projectnaam: **Warmtepomp Afstudeerproject**  
 Projectgegevens: **WKO installatie**

Datum: **10-10-2006**  
 Gezien: **DSR**  
 Wijz datum: **10-10-2006**

### Aquiferinstallatie

| <u>Aantal</u>      | <u>Installatiemateriaal</u>                             | <u>Mat. netto/st.</u> | <u>Mat. netto totaal</u> | <u>Manuren/st</u> | <u>Manuren totaal</u> | <u>Stelposten</u> |
|--------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| AQUIFERINSTALLATIE |                                                         |                       |                          |                   |                       |                   |
| 1                  | Bronnen en putbehuizingen                               |                       |                          |                   |                       | 64.000,00         |
| 1                  | Vergunning aanvraag                                     |                       |                          |                   |                       | 8.000,00          |
| 1                  | Meetbron en proefboring                                 |                       |                          |                   |                       | 16.000,00         |
| 1                  | Bronkoppelen en leidingwerk in pompkamers incl. bronpor |                       |                          |                   |                       | 50.000,00         |
| 1                  | Leidingwerk, appendages in technische ruimte en TSA     |                       |                          |                   |                       | 45.000,00         |
| 1                  | Transportleidingwerk (inclusief graafwerk)              |                       |                          |                   |                       | 15.000,00         |
| 1                  | Elektrotechnische voorzieningen                         |                       |                          |                   |                       | 16.000,00         |
| 1                  | Regeltechnische voorzieningen                           |                       |                          |                   |                       | 15.000,00         |
| 1                  | Onvoorzien (5%)                                         |                       |                          |                   |                       | 11.450,00         |
|                    | Subtotaal                                               |                       | € 0,00                   |                   | 0,000                 | € 240.450,00      |

### Distributieleiding CV

| <u>Aantal</u>         | <u>Installatiemateriaal</u>                                | <u>Mat. netto/st.</u> | <u>Mat. netto totaal</u> | <u>Manuren/st</u> | <u>Manuren totaal</u> | <u>Stelposten</u> |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| LEIDINGWERK           |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 10                    | Buis, staal t.b.v. warmwater DN 125 (70/30%)               | 58,97                 | 589,68                   | 2,522             | 25,220                |                   |
| 1                     | Verdeler/verzamelaar DN 125                                | 239,33                | 239,33                   | 23,660            | 23,660                |                   |
| KETEL                 |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 1                     | HR Ketel 500 kW prijs per kW                               | 15.000,00             | 15.000,00                |                   |                       |                   |
| POMPEN                |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 2                     | Pomp DN 125 t.b.v. verwarming compleet                     | 1.676,94              | 3.353,88                 | 10,820            | 21,640                |                   |
| AFSLUITERS EN KLEPPEN |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 9                     | STA-F DN 125 t.b.v. cv inst. incl. toebehoren              | 775,84                | 6.982,56                 | 3,327             | 29,940                |                   |
| 3                     | Drieweg-afsluiter                                          | 840,85                | 2.522,55                 |                   |                       |                   |
| 22                    | Tweeweg regelafsluiter DN 125                              | 110,74                | 2.436,32                 | 4,160             | 91,520                |                   |
| 2                     | Brons terugslagkl DN125 ubel RK41 incl. toebehoren         | 326,53                | 653,06                   | 2,667             | 5,333                 |                   |
| ISOLATIE              |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 10                    | Isolatie buis, min. wol met alu. folie, DN 125 dikte 50 mm |                       |                          |                   |                       |                   |
| 10                    | Isolatieafwerking buis, kunststof mantel DN 125            |                       |                          |                   |                       |                   |
| OVERIGE               |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 1                     | Buffervat, staal 1.000 liter geïsoleerd                    | 4.500,00              | 4.500,00                 | 16,000            | 16,000                |                   |
| 1                     | Lucht- en vuilafscheider t.b.v. cv installatie DN 125      | 3.458,89              | 3.458,89                 | 4,000             | 4,000                 |                   |
| 1                     | Expansie automaat Reflexomat 800L, 6 bar                   | 2.316,04              | 2.316,04                 | 30,660            | 30,660                |                   |
| 1                     | Onvoorzien (5%)                                            |                       |                          |                   |                       | 2.882,00          |
|                       | Subtotaal                                                  |                       | € 42.052,30              |                   | 247,973               | € 2.882,00        |

**Distributieleiding-gekoeldwater**

| <u>Aantal</u>                | <u>Installatiemateriaal</u>                                | <u>Mat. netto/st.</u> | <u>Mat. netto totaal</u> | <u>Manuren/st</u> | <u>Manuren totaal</u> | <u>Stelposten</u> |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>LEIDINGWERK</b>           |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 10                           | Buis, staal t.b.v. warmwater DN 125 (70/30%)               | 58,97                 | 589,68                   | 2,522             | 25,220                |                   |
| 2                            | Verdeler/verzamelaar DN 125                                | 239,33                | 478,65                   | 23,660            | 47,320                |                   |
| <b>WARMTEPOMP</b>            |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 1                            | Warmtepomp, watergekoeld 550kW (inclusief montage)         | 45.590,00             | 45.590,00                |                   |                       |                   |
| 3                            | Droge koeler (212,5 kW)                                    | 19.701,53             | 59.104,59                | 28,533            | 85,600                |                   |
| 1                            | TSA                                                        | 16.006,00             | 16.006,00                | 10,670            | 10,670                |                   |
| <b>POMPEN</b>                |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 2                            | Pomp DN 125 t.b.v. gekoeld water compleet                  | 1.676,94              | 3.353,88                 | 10,820            | 21,640                |                   |
| 1                            | Circulatie pomp met elektrische toerenregeling             | 1.481,55              | 1.481,55                 | 6,333             | 6,333                 |                   |
| <b>AFSLUITERS EN KLEPPEN</b> |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 14                           | STA-F DN 125                                               | 775,84                | 10.861,76                | 3,327             | 46,573                |                   |
| 2                            | Drieweg-afsluiter                                          | 840,85                | 1.681,70                 |                   |                       |                   |
| 29                           | Tweeweg regelafsluiter DN 125                              | 110,74                | 3.211,52                 | 4,160             | 120,640               |                   |
| 2                            | Brons terugslagklep DN125                                  | 326,53                | 653,06                   | 2,667             | 5,333                 |                   |
| <b>ISOLATIE</b>              |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 10                           | Isolatieafwerking buis, kunststof mantel DN 125            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 10                           | Isolatie buis, min. wol met alu. folie, DN 125 dikte 50 mm |                       |                          |                   |                       |                   |
| <b>OVERIGE</b>               |                                                            |                       |                          |                   |                       |                   |
| 1                            | Buffervat, staal 2500 liter geïsoleerd                     | 6.000,00              | 6.000,00                 | 16,000            | 16,000                |                   |
| 1                            | Expansie automaat Reflexomat                               | 2.316,04              | 2.316,04                 | 30,660            | 30,660                |                   |
| 1                            | Lucht- en vuilafscheider DN 125                            | 3.458,89              | 3.458,89                 | 4,000             | 4,000                 |                   |
| 1                            | Onvoorzien (5%)                                            |                       |                          |                   |                       | 7.739,00          |
| <b>Subtotaal</b>             |                                                            |                       | <b>€ 154.787,31</b>      |                   | <b>419,990</b>        | <b>€ 7.739,00</b> |

**Totaal overzicht**

| <u>Bestekdeel</u>                                | <u>Materiaal netto</u> | <u>Manuren</u> | <u>Gecorr.manuren</u> | <u>Loonkosten</u>  | <u>Stelposten</u>   |
|--------------------------------------------------|------------------------|----------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Koude-opwekking (Stabu 62.11)                    |                        |                |                       |                    | 240.450,00          |
| Distributie warmte, koude en stoom (Stabu 60.11) | 196.839,61             | 667,96         | 667,96                | 24.213,04          | 10.621,00           |
| <b>Subtotaal bestekdelen:</b>                    | <b>€ 196.839,61</b>    | <b>667,96</b>  | <b>667,96</b>         | <b>€ 24.213,04</b> | <b>€ 251.071,00</b> |

Tabel 6: Overzicht kosten WKO installatie

De totaalkosten van de WKO installatie komen neer op €472.123,-. Dit bedrag zijn de materialen, loonkosten en de stelposten bij elkaar opgeteld.

**Kosten hoog/laag temperatuur**

Het onderzoek gaat tot de verdelers van het gekoeld- en warmwaternet. Toch is onderzocht of er verschil is in investeringskosten van een lage temperatuur verwarming (LTV) en een hoge temperatuur verwarming (HTV).

Het toepassen van een laagtemperatuur verwarmingnet (tot 55°C) bij bijvoorbeeld betonkernactivering of klimaatplafonds is na onderzoek bij het kostenmanagement bij Van Heugten niet duurder gebleken dan een traditioneel HTV (70°C - 90°C). De investeringskosten van deze systemen zijn nagenoeg gelijk. De investeringskosten vormen daarom geen belemmering om te kiezen voor de duurzame LTV.

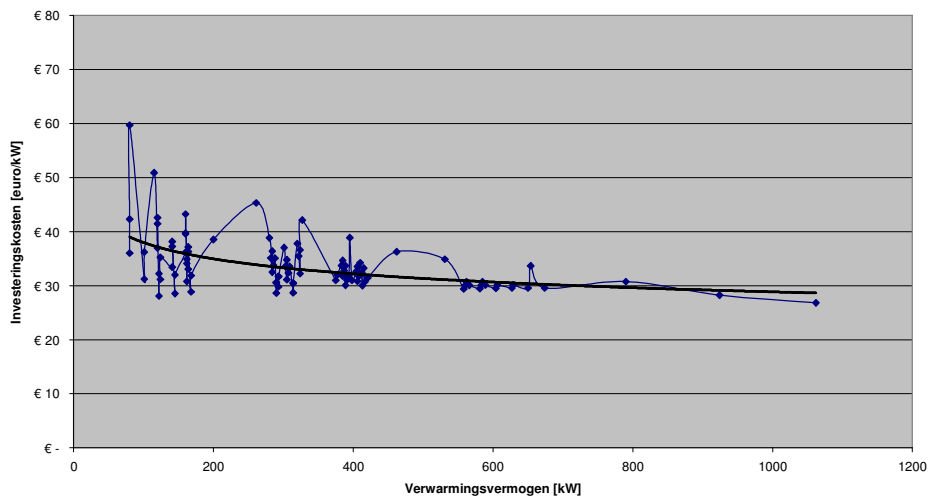
### Beschrijving onderdelen

Bij de belangrijke componenten van de installatie zal dieper op de stelposten worden ingegaan.

#### 1. CV ketel (50/30)

- Bij de berekening voor de kostprijs van de ketel van 500 kW is €30,- per kW gerekend (zie figuur 19). Dit bedrag is verkregen uit offertes van Viessmann en Remeha gecombineerd met de waarden uit InstallOffice. Het totaalbedrag voor twee ketels in de conventionele installatie komt neer op €30.000,-.
- Het totaalbedrag voor één ketel van 500 kW voor de WKO installatie komt vervolgens neer op €15.000,-

Kostenindicatie CV ketels offerte leverancier

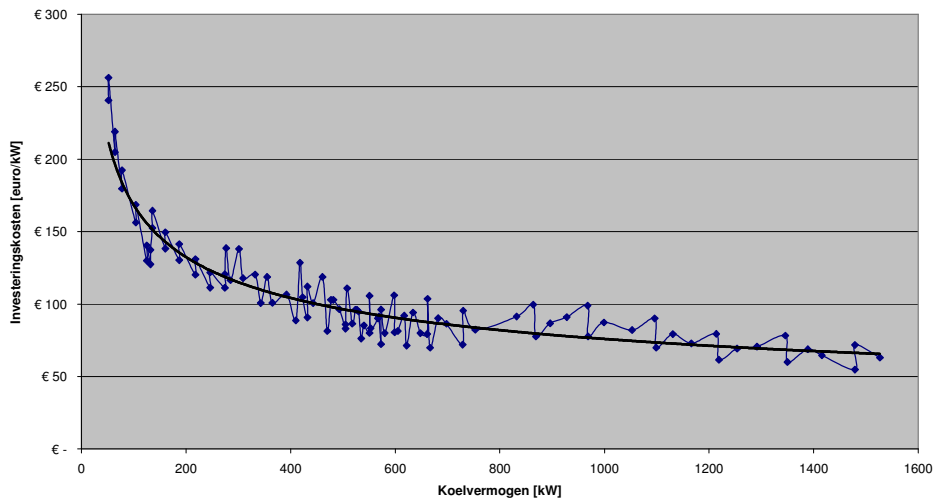


Figuur 19: Kostenindicatie CV ketels

#### 2. Koelmachine en warmtepomp

- Technisch zijn de verschillen tussen een koelmachine en een warmtepomp niet groot. Ook de aanschafprijs is nagenoeg gelijk. Bij de berekening voor de kostprijs van een koelmachine van 750 kW is €80,- per kW gerekend (zie figuur 20). Dit bedrag is verkregen uit offertes van Carrier, Trane en IBK gecombineerd met de waarden uit InstallOffice. Het totaalbedrag voor de conventionele installatie komt vervolgens neer op €60.000,-.
- Door aanvraag van offertes bij Carrier is vastgesteld dat een warmtepomp met een vermogen van 550 kW €45.590,- kost.

### Kostenindicatie Koelsysteem offerte leverancier



Figuur 20: Kostenindicatie koelmachines

### 3. Drogekoeler

- Voor de conventionele installatie zijn twee drogekoelers met een totaal vermogen van 850 kW gekozen die voldoen aan de NEN-EN 13487. Güntner kan deze twee drogekoelers leveren voor €28.900,-.
- Voor de WKO installatie zijn drie drogekoelers benodigd die een vermogen leveren van 212,5 kW per stuk en voldoen aan de NEN-EN 13487. In totaal leveren de drogekoelers een vermogen van ongeveer 624 kW. Güntner kan deze drie drogekoelers leveren voor €59.400,-. Deze drogekoelers zijn groter in omvang en daardoor duurder. Dit komt omdat de  $\Delta T$  bij de WKO installatie kleiner is om extra warmte te kunnen invangen

### 4. TSA

- Voor de conventionele installatie zijn de investeringskosten van een platenwarmtewisselaar met een warmtewisselend oppervlak van 28,3 m<sup>2</sup> en een  $\Delta T$  van 8K €3.100,-. De TSA is aangesloten op de aanvoer en retourleiding van de warmtepomp en de drogekoeler.
- De WKO installatie moet 624 kW condensatorwarmte kunnen afvoeren door middel van de drogekoelers. De  $\Delta T$  over de TSA mag maximaal 1K bedragen om warmte in de zomer te kunnen laden. Het warmtewisselende oppervlak neemt daardoor toe tot 322 m<sup>2</sup>. De kosten van de TSA komen neer op €16.006,-. De gegevens zijn verkregen uit offertes van Alfa Laval en Güntner en de kosten komen overeen met de gegevens uit InstallOffice.

### 5. Bronsysteem

Voor de aquiferinstallatie is een stelpost genomen van €240.450,-. Dit bedrag is voort gekomen uit de meest recentste offertes die GeoComfort aan Van Heugten heeft gedaan en informatie van de provincie Noord-Holland. Er wordt uitgegaan van een doubletsysteem met brondebiet van 60 m<sup>3</sup>/h, mogelijkheid om water op het riool te lozen en de aanwezigheid van elektriciteit. De provincie Noord-Holland stelt voor leges en publicatiekosten vergunning Grondwaterwet €17,55 per m<sup>3</sup> nominaal geïnstalleerd pompvermogen (bij pomp met een vermogen 60 m<sup>3</sup>/uur bedragen de leges (60 x €17,55 = €1053,-) + advertentiekosten, 2 x €235,- = €470,-. De provincie stelt ook dat een effectenstudie gedaan moet worden voor de aanvraag van de vergunning. Deze is gesteld op ongeveer €6.500,-. De kosten van leges, publicatiekosten en effectenstudie zijn ondergebracht onder de stelpost vergunningen.

### Onderhoudskosten onderdelen

Van de belangrijkste onderdelen is uitgezocht hoeveel de jaarlijkse onderhoudskosten bedragen.

#### 1. CV ketel

- Voor twee CV ketels van 500 kW rekenen ketelfabrikanten Viessmann en Remeha rond de €830,- voor jaarlijks periodiek onderhoud. Dit komt neer op 2,75% van de totale investering van €30.000,-
- Voor een CV ketel van 500 kW rekenen ketelfabrikanten Viessmann en Remeha rond de €415,- voor jaarlijks periodiek onderhoud.

#### 2. Koelmachine en warmtepomp

- Omdat koelmachines en warmtepompen technisch niet zoveel van elkaar verschillen is ook het onderhoud nagenoeg gelijk na aanvraag bij Trane en Carrier. In Nederland dient elk elektrisch apparaat te voldoen aan en aangesloten te worden volgens de plaatselijke voorschriften van het bedrijf dat de elektriciteit levert. Daarnaast valt een airconditioninginstallatie onder de Regeling Lekkage Koelinstallaties (RLK). Dit houdt in dat de installatie aangelegd en onderhouden dient te worden door een Stichting Erkenningregeling voor de uitoefening van het Koeltechnisch installatiebedrijf (STEK) erkend installateur. Het totaal komt vervolgens neer op €1700,- per jaar en op 2,83% van de totale investering van €60.000,- (conventioneel), en 3,73% van €45.590,- (WKO).

|             | Groot onderhoud | Aantal verplichte beurten | RLK      | Aantal verplichte beurten | Totaal     |
|-------------|-----------------|---------------------------|----------|---------------------------|------------|
| Warmte pomp | € 950,00        | 1                         | € 250,00 | 3                         | € 1.700,00 |

Tabel 7: Onderhoudskosten koelmachine en warmtepomp

#### 3. Drogekoeler

- Güntner hanteert voor de jaarlijkse onderhoudskosten van twee drogekoelers met een vermogen van 425 kW 900 €/jaar. Zodoende komen de kosten voor onderhoud van de twee drogekoelers bij een conventionele installatie op 1800 €/jaar.
- Volgens Güntner komen de jaarlijkse onderhoudskosten voor een drogekoeler van 212,5 kW op €700 €/jaar. De totaalkosten voor onderhoud van de drie drogekoelers komt neer op €2.100,-.

#### 4. TSA

- Güntner hanteert met betrekking tot de jaarlijkse onderhoudskosten voor een platenwarmtewisselaar van 850 kW met een oppervlakte van ongeveer 30 m<sup>2</sup> 300 €/jaar. Zodoende zijn de kosten voor onderhoud van de TSA voor een conventionele installatie gesteld op 300 €/jaar.
- Güntner hanteert met betrekking tot de jaarlijkse onderhoudskosten voor een platenwarmtewisselaar van 624 kW met een oppervlakte van ongeveer 200 m<sup>2</sup> 950 €/jaar. Zodoende zijn de kosten voor onderhoud van de TSA voor een WKO installatie gesteld op 950 €/jaar.

## 5. Bronsysteem

De jaarlijkse onderhoudskosten van het grondwatersysteem worden geraamd op een totaal bedrag van €7.000,-. De kosten zijn als volgt onderverdeeld:

- Beheer en onderhoud €4.800,-
- Vergunning Grondwaterwet (monitoring) €2.200,-

Beheer en onderhoud betekenen de jaarlijkse fysieke controle van de bronnen en preventief onderhoud inclusief garantie. De totale kosten van het meetprogramma dat verplicht is gesteld door de provincie bedraagt €2.200,-.

### Totaal

- De totale onderhoudskosten van de conventionele installatie bedragen €4.630,-. Dit is 2,2 % van de totale investering van €207.002,-.
- De totale onderhoudskosten van de WKO installatie bedragen €12.165,-. Dit is 2,6% van de totale investering van €472.123,-.

## Bijlage 5 Samenstelling gas- en elektriciteitsprijzen

### Gasprijs

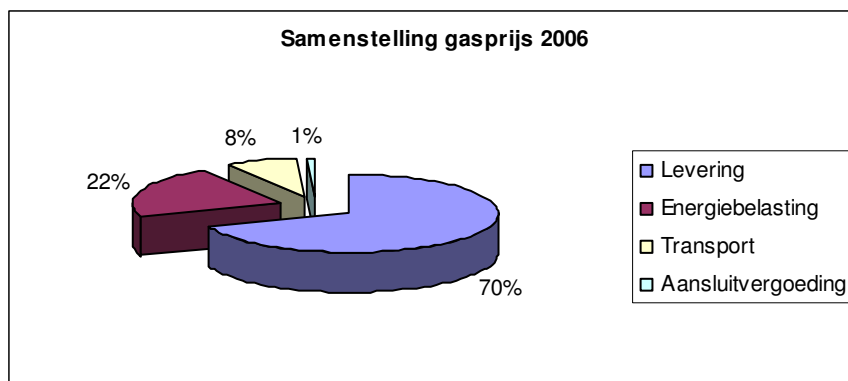
De gasprijs is voor 2006 gesteld op €0,47 per m<sup>3</sup> exclusief BTW aan de hand van gegevens van Essent.

|                       | kleinverbruik (tot 170.000 m3) |
|-----------------------|--------------------------------|
| Levering variabel     | € 0,22000                      |
| Levering regiotoeslag | € 0,10718                      |
| Levering Vastrecht    | € 0,00240                      |
| Transport variabel    | € 0,01924                      |
| Transport capaciteit  | € 0,00959                      |
| Transport vastrecht   | € 0,00847                      |
| Aansluitvergoeding    | € 0,00360                      |
| Energiebelasting      | € 0,10190                      |
| Totaal                | € 0,47238                      |

Tabel 8: Samenstelling gasprijs

Dit is berekend met een HR107 ketel van Viessmann met een maximaal rendement van 109% bij verwarmingssysteem temperatuur van 50/30°C.

Met een ketelrendement van 109% wordt uit Gronings aardgas maximaal 34,49 MJ/m<sup>3</sup> gehaald. Dit komt neer op 9,58 kWh warmte per m<sup>3</sup> aardgas. Dit komt vervolgens neer op een €0,05 per kWh warmte. Dit is de gunstigste waarde om warmte met een ketel te produceren. Wanneer van een lager rendement wordt uitgegaan neemt de besparing toe vanwege het feit dat er conventioneel meer gas wordt verstoekt om warmte op te wekken dan bij een WKO installatie.



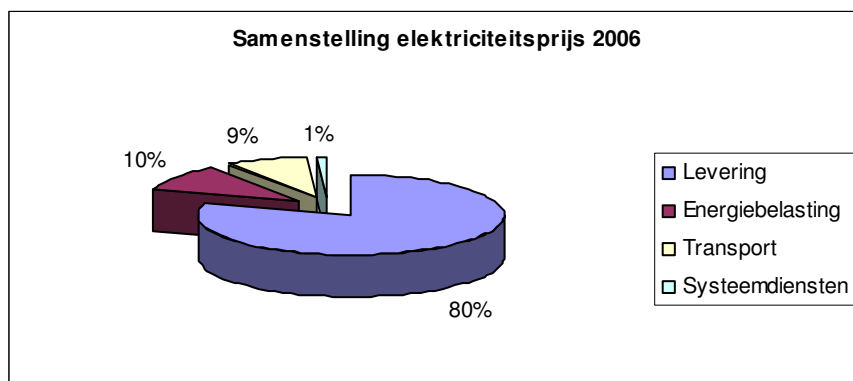
Figuur 21: Samenstelling gasprijs

### Elektriciteitsprijs

De elektriciteitsprijs is voor 2006 gesteld op €0,09 per kWh exclusief BTW. Dit is berekend aan de hand van het aangenomen gegeven dat 30% van het energieverbruik plaatsvindt in het daltarief en 70% plaatsvindt in het plateautarief.

| Verbruikscomponent          | <u>daltarief</u> | <u>plateautarief</u> |              |
|-----------------------------|------------------|----------------------|--------------|
| Levering                    | 0,045            | 0,085                | €/kWh        |
| energiebelasting            | 0,0094           | 0,0094               | €/kWh        |
| transportdiensten           | 0,0078           | 0,0078               | €/kWh        |
| systeemdiensten             | 0,00099          | 0,00099              | €/kWh        |
| Totaal                      | 0,06319          | 0,10319              | €/kWh        |
| Verhouding                  | 30%              | 70%                  |              |
| <b>Totaal na verhouding</b> | <b>0,09119</b>   |                      | <b>€/kWh</b> |

Tabel 9: Samenstelling elektriciteitsprijs



Figuur 22: Samenstelling elektriciteitsprijs

## Bijlage 6 Subsidie

Om te kijken of een WKO installatie voordelig is om toe te passen is gekeken naar de mogelijkheid om subsidie te krijgen van de overheid. Hierdoor zou de keuze van een WKO installatie ten opzichte van een conventionele installatie misschien gemakkelijker worden. Na gesproken te hebben met ir. Hans Korbbe van SenterNovem is gebleken dat op dit moment geen subsidiemogelijkheden zijn voor het toepassen van een WKO installatie omdat de regeling Energie-investeringsaftrek (EIA) op 12 oktober 2006 is stop gezet door de minister van financiën vanwege de overschrijding van het budget met 200 miljoen euro. In 2007 wordt de regeling, met een nieuw budget, weer toegepast.

### Energie investering aftrek

De Energie-investeringsaftrek is een fiscale regeling van de ministeries van Financiën en Economische Zaken. SenterNovem en de Belastingdienst voeren de EIA uit. De EIA is bedoeld voor ondernemers die investeren in energiebesparende techniek en de toepassing van duurzame energie in de onderneming. Door de regeling leveren investeringen een ondernemer dubbel voordeel op. Niet alleen wordt op energiekosten bespaard maar de ondernemer betaalt ook minder inkomsten- of vennootschapsbelasting. 44% van de investeringskosten is aftrekbaar van de fiscale winst van de onderneming. Het directe financiële voordeel is afhankelijk van het belastingpercentage over de winst.

### Van toepassing op het project

Volgens de EIA komen de warmtepomp, drogekoeler en de aquifer in aanmerking voor de regeling.

Stel dat de fiscale winst van het bedrijf €500.000,- bedraagt en de vennootschapsbelasting 25,5% over de eerste €22.689,- winst en 29,6.% over de rest van de winst. De drogekoeler, warmtepomp en de aquifer kosten in totaal €345.140,-. De EIA bedraagt 44% van €345.140,-, dat is €151.861,-. De fiscale winst wordt nu €348.138,- (€500.000,- - €151.861,-). Zonder EIA zou er €147.069,- aan vennootschapsbelasting moeten worden betaald. Door gebruik te maken van de regeling wordt er maar €102.118,- vennootschapsbelasting betaald. Het directe fiscale voordeel bedraagt €44.950,-.



## Bijlage 7 Correctiefactoren seizoensgegevens

Er is geconstateerd dat de herfst van het jaar 2005 volgens het KNMI extreem warm was. Hierdoor wordt in het verdere onderzoek gesteld dat een afwijking van 2°C een extreme temperatuurafwijking van de gemiddelde buitentemperatuur is.

Omdat alleen meetgegevens beschikbaar zijn van het jaar 2005 is een inschatting gemaakt over wat de gevraagde vermogens zijn wanneer de verschillende seizoenen 2°C warmer of 2°C kouder zouden zijn. Om de verschillende jaargetijden te creëren zijn de volgende correcties op de gemiddelde buitentemperatuur toegepast.

| Seizoen | Koud  | Normaal | Warm  |
|---------|-------|---------|-------|
| Winter  | - 2°C | 0°C     | + 2°C |
| Lente   | - 2°C | 0°C     | + 2°C |
| Zomer   | - 2°C | 0°C     | + 2°C |
| Herfst  | - 4°C | - 2°C   | 0°C   |

Tabel 10: Temperaturen seizoenen

Deze getallen zijn vervolgens gecombineerd met de gemiddelde temperaturen van 2005.

| Seizoen | 2005    | Koud    | Normaal | Warm    |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| Winter  | 4,24°C  | 2,24°C  | 4,24°C  | 6,24°C  |
| Lente   | 10,15°C | 8,15°C  | 10,15°C | 12,15°C |
| Zomer   | 17,91°C | 15,91°C | 17,91°C | 19,91°C |
| Herfst  | 13,14°C | 9,14°C  | 11,14°C | 13,14°C |

Tabel 11: Gemiddelde temperaturen seizoenen 2005

Met deze gegevens is vervolgens bepaald hoeveel vermogen er totaal gevraagd werd in 2005. Door in Excel het gemiddelde te nemen van het aantal cellen per seizoen en deze of naar boven of naar onderen te schuiven neemt de gemiddelde temperatuur toe of af. Om bijvoorbeeld de herfst kouder te maken, wordt deze een stuk naar de winter geschoven, waardoor de gemiddelde temperatuur afneemt.

Door deze methode toe te passen en het de deelvermogens bij elkaar op te tellen zijn de onderstaande tabellen tot stand gekomen.

|                                                |                                                  |                                                |                                                |                                                   |                                                 |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Koude winter</b><br>Gemid. temp.<br>2,24 °C | <b>Normale Winter</b><br>Gemid. temp.<br>4,24 °C | <b>Warme Winter</b><br>Gemid. temp.<br>6,24 °C | <b>Koude Lente</b><br>Gemid. temp.<br>8,15 °C  | <b>Normale Lente</b><br>Gemid. temp.<br>10,15 °C  | <b>Warme Lente</b><br>Gemid. temp.<br>12,15 °C  |
| <b>Koelen</b>                                  |                                                  |                                                | <b>Koelen</b>                                  |                                                   |                                                 |
| Gemid.<br>9 kWh<br>Totaal<br>18.605 kWh        | Gemid.<br>13 kWh<br>Totaal<br>27.016 kWh         | Gemid.<br>24 kWh<br>Totaal<br>52.557 kWh       | Gemid.<br>33 kWh<br>Totaal<br>72.573 kWh       | Gemid.<br>115 kWh<br>Totaal<br>92.813 kWh         | Gemid.<br>45 kWh<br>Totaal<br>100.197 kWh       |
| <b>Verwarmen</b>                               |                                                  |                                                | <b>Verwarmen</b>                               |                                                   |                                                 |
| Gemid.<br>268 kWh<br>Totaal<br>579.226 kWh     | Gemid.<br>232 kWh<br>Totaal<br>501.358 kWh       | Gemid.<br>190 kWh<br>Totaal<br>410.715 kWh     | Gemid.<br>152 kWh<br>Totaal<br>334.302 kWh     | Gemid.<br>115 kWh<br>Totaal<br>254.244 kWh        | Gemid.<br>72 kWh<br>Totaal<br>159.694 kWh       |
| <b>Koude zomer</b><br>Gemid. temp.<br>15,91 °C | <b>Normale zomer</b><br>Gemid. temp.<br>17,91 °C | <b>Warme zomer</b><br>Gemid. temp.<br>19,91 °C | <b>Koude Herfst</b><br>Gemid. temp.<br>9,14 °C | <b>Normale Herfst</b><br>Gemid. temp.<br>11,14 °C | <b>Warme Herfst</b><br>Gemid. temp.<br>13,14 °C |
| <b>Koelen</b>                                  |                                                  |                                                | <b>Koelen</b>                                  |                                                   |                                                 |
| Gemid.<br>82 kWh<br>Totaal<br>180.569 kWh      | Gemid.<br>103 kWh<br>Totaal<br>225.111 kWh       | Gemid.<br>140 kWh<br>Totaal<br>308.472 kWh     | Gemid.<br>39 kWh<br>Totaal<br>84.930 kWh       | Gemid.<br>47 kWh<br>Totaal<br>101.849 kWh         | Gemid.<br>65 kWh<br>Totaal<br>141.767 kWh       |
| <b>Verwarmen</b>                               |                                                  |                                                | <b>Verwarmen</b>                               |                                                   |                                                 |
| Gemid.<br>41 kWh<br>Totaal<br>90.122 kWh       | Gemid.<br>21 kWh<br>Totaal<br>45.970 kWh         | Gemid.<br>8 kWh<br>Totaal<br>16.535 kWh        | Gemid.<br>144 kWh<br>Totaal<br>313.164 kWh     | Gemid.<br>108 kWh<br>Totaal<br>236.207 kWh        | Gemid.<br>78 kWh<br>Totaal<br>169.358 kWh       |

Tabel 12: Vermogens seizoenen

Het valt op, dat wanneer het warmer wordt, de koelvraag toeneemt en de warmtevraag afneemt. Zodra het kouder wordt gebeurt het omgekeerde en neemt de koudevraag toe en de warmtevraag af.

De uitkomsten van deze verschuivingen zijn geen betrouwbare resultaten waarmee direct gerekend kan worden. Er kan niet zomaar gezegd worden dat de seizoenen opschuiven. Wel kan een correctiefactor worden berekend die toegepast kan worden op de jaargegevens.

| <b>Koeling</b> |                | <b>Verwarming</b> |                |
|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| Koude zomer    | Warme zomer    | Koude zomer       | Warme zomer    |
| 0,80           | 1,37           | 1,96              | 0,36           |
| Koude winter   | Warme winter   | Koude winter      | Warme winter   |
| 0,69           | 1,95           | 1,16              | 0,82           |
| Koude herfst   | Normale herfst | Koude herfst      | Normale herfst |
| 0,83           | 0,72           | 0,75              | 0,72           |
| Koude lente    | Warme lente    | Koude lente       | Warme lente    |
| 0,78           | 1,08           | 1,31              | 0,63           |

Tabel 13: Correctiefactoren koeling / verwarming

Bovenstaande factoren zijn verkregen door de kWh op elkaar te delen. Om bijvoorbeeld de factor voor een warme zomer bij koeling te bepalen:  $308.472 \text{ kWh} / 225.111 \text{ kWh} = 1,37$

## Bijlage 8 Energieverbruik per seizoenssituatie

Omdat vergelijkingen moeten worden gemaakt van verschillende seizoenen, moet eerst worden uitgezocht wat het verbruik in deze seizoenen is. In dit hoofdstuk worden de verbruiken bepaald aan de hand van de meetgegevens.

Er komt een negental vergelijkingen zoals hieronder weergegeven. De tussenperiodes zijn niet zo zeer van belang, omdat deze lagere verbruiken hebben. Het is daarom interessanter om de data te bekijken bij de extreme weersomstandigheden.

| Situaties     |                |
|---------------|----------------|
| Koude zomer   | Koude winter   |
| Koude zomer   | Normale winter |
| Koude zomer   | Warme winter   |
|               |                |
| Normale zomer | Koude winter   |
| Normale zomer | Normale winter |
| Normale zomer | Warme winter   |
|               |                |
| Warme zomer   | Koude winter   |
| Warme zomer   | Normale winter |
| Warme zomer   | Warme winter   |

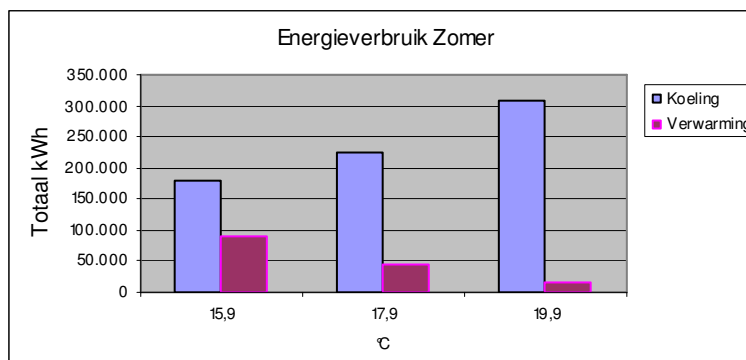
Tabel 14: Combinaties

Wat warme, normale en koude seizoensomstandigheden zijn, is bepaald aan de hand van gegevens van het KNMI. Deze factoren zijn vervolgens toegepast op de meetgegevens, waarna is berekend hoeveel gemiddeld en totaal, gekoeld en verwarmd moet worden bij de koude, normale en warme temperatuur.

Het KNMI rekent met een temperatuursverschil van één graad als zacht en een verschil van 2 graden als extreem. Daarom is gekozen voor een afwijking van 2 graden van het gemiddelde, om de extremen te bepalen.

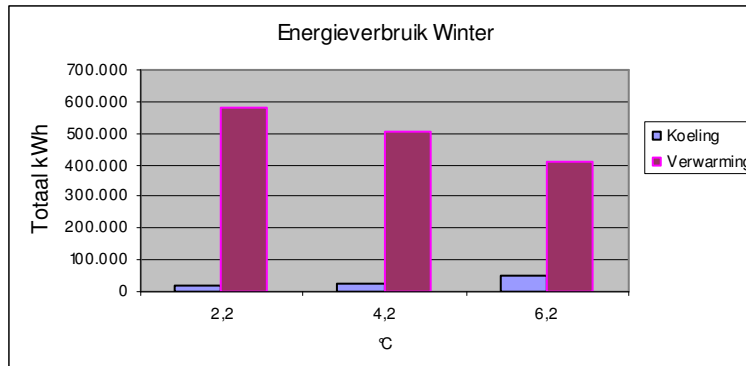
Het jaar 2005 was een gemiddeld jaar, behalve de herfstperiode die warmer was dan normaal.

Een overzicht van dit onderzoek is te vinden in de figuren hieronder. In de linker kolom is de koude, in de middelste de normale en in de rechter de warme situatie weergegeven.



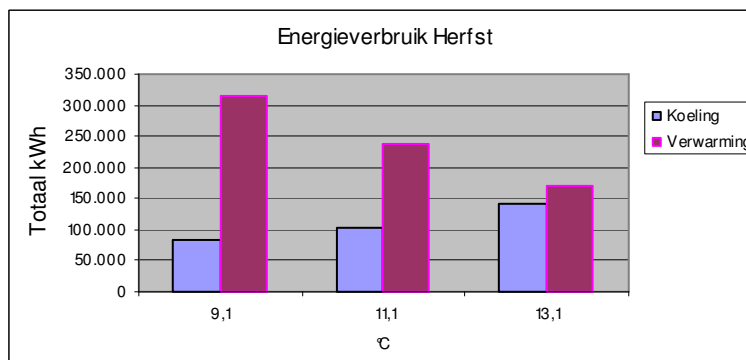
Figuur 23: Totaalverbruik kW koeling en verwarming in de zomer

Bij het energieverbruik in de zomer (figuur 23) valt het op dat aanzienlijk meer koeling nodig is dan verwarming. De hoeveelheid koeling neemt in grotere mate toe dan de verwarming afneemt, naar mate het warmer wordt.

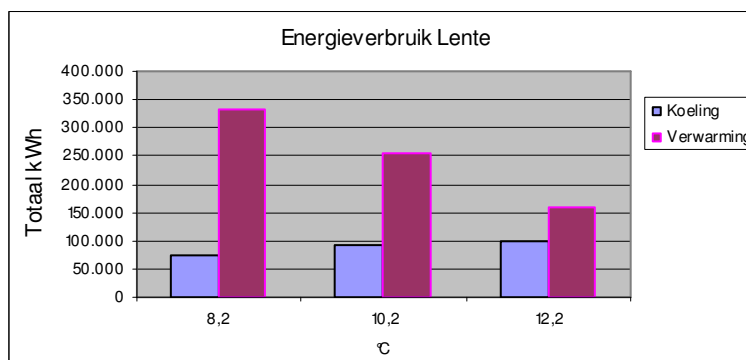


Figuur 24: Totaalverbruik kW koeling en verwarming in de winter

Bij het energieverbruik in de winter (figuur 24) is het precies andersom als in de zomer. Er is een grote verwarmingsvraag die afneemt als het warmer wordt. De koelvraag neemt toe.



Figuur 25: Totaalverbruik kW koeling en verwarming in de herfst



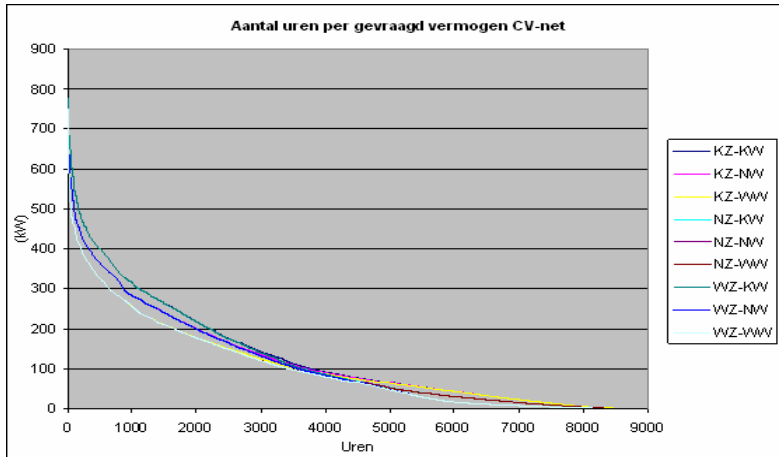
Figuur 26: Totaalverbruik kW koeling en verwarming in de lente.

De herfst en de lente (figuur 25 en 26) lijken nagenoeg op elkaar, in de herfst is de koeling groter en in de lente is de verwarming groter.

## Bijlage 9 Bepaling piekvermogens

### Seizoenssituaties

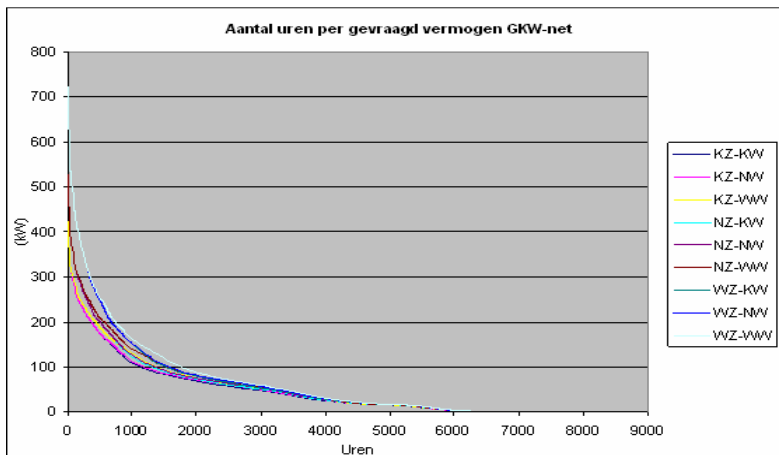
Aan de hand van de meetgegevens zijn een aantal verschillende seizoenssituaties opgebouwd. Voor deze seizoenen zijn de vermogens bepaald voor een koud, normaal en een warm seizoen. Vervolgens zijn deze seizoenen gecombineerd tot een jaar. Bij de herfst en lente is er bewust gekozen voor een normale seizoenssituatie, om het aantal combinaties te verminderen. Wanneer ook de drie situaties voor de herfst en lente worden genomen, zijn in plaats van negen combinaties, 27 combinaties mogelijk, wat veel informatie oplevert met kleine verschillen.



Figuur 27: Uren gevraagd vermogen gecombineerde seizoenen CV

In figuur 27 is het verloop van het gevraagde CV vermogen weergegeven. Het gevraagde vermogen is uitgezet tegen het aantal uren dat het voorkomt. Er is zien dat een vermogen onder de 100 kW ongeveer 4500 uur voorkomt, waardoor af te leiden is dat de lage vermogens vaker voorkomen dan de warme.

Met de meetgegevens kunnen piekvermogens bepaald worden. Voor het CV-net komt dit neer op een vermogen van 988 kW.



Figuur 28: Uren gevraagd vermogen gecombineerde seizoenen GKW

Wanneer naar het GKW-net gekeken wordt, is duidelijk één uitschieter te zien. In een warme zomer / warme winter is de meeste koelvraag. Het piekvermogen ligt op 722 kW.

De kleinste koelvraag komt voor in een koude zomer / koude winter. De grootste invloed op de totale koelvraag is de vereiste koelvraag in de zomer.

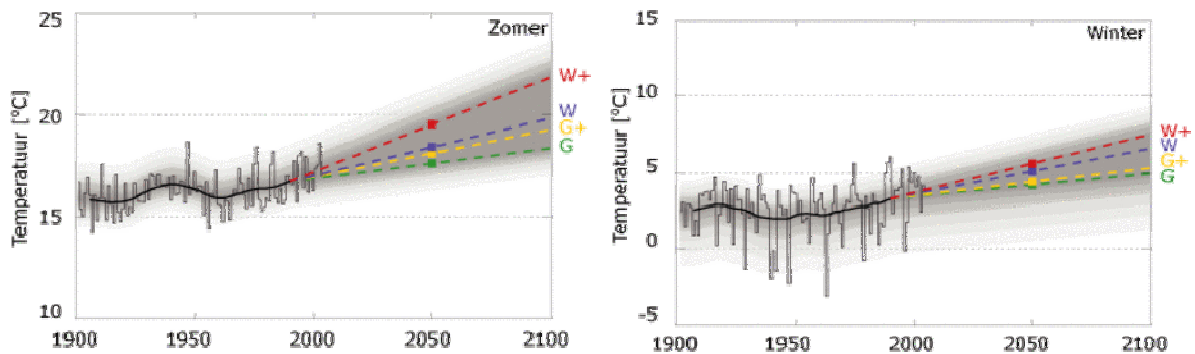


## Bijlage 10 Extreme weersituaties

Klimaatmodellen berekenen voor het jaar 2100 ten opzichte van het jaar 1990 een wereldwijde temperatuurstijging tussen 1°C en 6°C. In de klimaatscenario's van het KNMI is de temperatuurstijging in Nederland niet gelijk aan de wereldgemiddelde temperatuurstijging. Belangrijk is de ligging van Nederland aan de rand van een continent dat sterker opwarmt, maar ook dicht bij het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan, waarvoor de meeste klimaatmodellen een kleinere temperatuurstijging berekenen.

Ook is sprake van opwarming in de scenario's waarin ook de luchtstromingspatronen veranderen. De vier scenario's laten een opwarming zien rond het jaar 2050 variërend van 0,9°C tot 2,3°C in de winter en van 0,9°C tot 2,8°C in de zomer. De waargenomen temperatuurstijging tussen het jaar 1990 en het jaar 2005 is naar verhouding groot en bedraagt gemiddeld meer dan 0,5°C. In de waargenomen temperatuurstijging spelen ook de natuurlijke schommelingen een rol. Doordat die schommelingen zullen blijven voorkomen is het mogelijk dat er in de toekomst tijdelijk een periode van relatief koelweer zal volgen.

In figuur 29 is de stijgende lijn te zien. In G en W scenario's wordt ervan uit gegaan dat de luchtstromingspatronen niet veranderen. In de G+ en W+ scenario's is wel rekening gehouden met verandering in luchtstromingspatronen. De G en G+ situaties gaan er vanuit dat de temperatuur op aarde 1°C stijgt in 2050 ten opzichte van 1990 en de W en W+ situaties gaan er vanuit dat de temperatuur op aarde 2°C in 2050 stijgt ten opzichte van 1990.



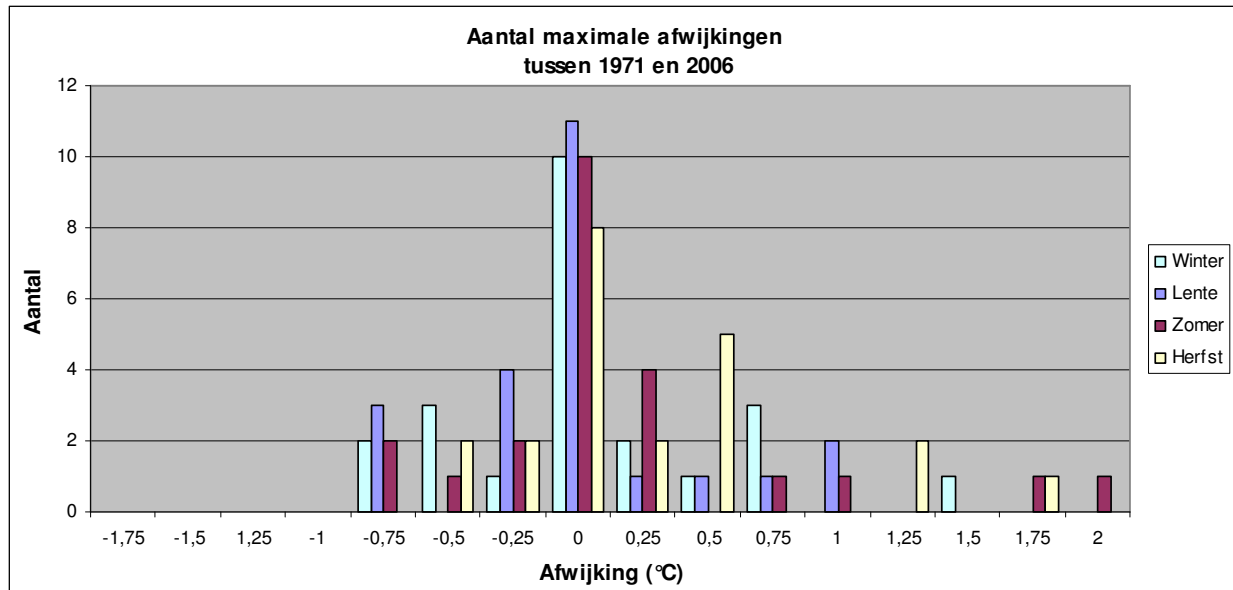
Figuur 29: Scenario's temperatuurstijging zomer en winter (KNMI)

De extreme situaties hebben zijn gesteld op twee graden Celsius afwijking van het gemiddelde. Hieronder staat een tabel gebaseerd op gegevens van het KNMI die de gemiddelde seizoenstemperaturen weergeven voor een gemiddeld jaar.

| Winter  | Lente   | Zomer    | Herfst   |
|---------|---------|----------|----------|
| 4,30 °C | 9,90 °C | 17,60 °C | 11,20 °C |

Tabel 15: Gemiddelde seizoenstemperaturen

Voor de periode 1971-2006 zijn in totaal 23 meetresultaten beschikbaar die gebruikt zijn om de afwijking per seizoen te bepalen. Deze afwijkingen zijn vervolgens onderverdeeld in verschillende schalen en weergegeven in figuur 30.



Figuur 30: Maximale afwijking (°C) tussen 1971 en 2006

De grafiek is bedoeld om een beeld te vormen hoe vaak de extreme afwijkingen verwacht kunnen worden. Uit de resultaten komt naar voren dat er maar één keer een afwijking van +2°C voorkomt en dit is in de zomer. Rond het gemiddelde (tussen de -0,25°C en 0,25°C) zijn de meeste meetresultaten wat overeenkomt met een normaal jaar.

## Bijlage 11 Keuze warmtepomp

| Normaal Jaar                     |               |                 | Normaal Jaar                     |               |                 | Normaal Jaar                     |               |                 | Normaal Jaar                     |               |                 |
|----------------------------------|---------------|-----------------|----------------------------------|---------------|-----------------|----------------------------------|---------------|-----------------|----------------------------------|---------------|-----------------|
| Samenvatting WKO                 |               | Prijs           | Samenvatting WKO                 |               | Prijs           | Samenvatting WKO                 |               | Prijs           | Samenvatting WKO                 |               | Prijs           |
| Opgewekte warmte WP              | 1.062.327 kWh |                 | Opgewekte warmte WP              | 1.071.232 kWh |                 | Opgewekte warmte WP              | 1.073.425 kWh |                 | Opgewekte warmte WP              | 1.087.750 kWh |                 |
| Opgewekte koude WP               | 837.354 kWh   |                 | Opgewekte koude WP               | 826.962 kWh   |                 | Opgewekte koude WP               | 808.105 kWh   |                 | Opgewekte koude WP               | 823.011 kWh   |                 |
| Pelektrisch WP                   | 224.972 kWh   |                 | Pelektrisch WP                   | 244.270 kWh   |                 | Pelektrisch WP                   | 265.320 kWh   |                 | Pelektrisch WP                   | 264.739 kWh   |                 |
| Gemiddelde COP Koude             | 3,72          |                 | Gemiddelde COP Koude             | 3,39          |                 | Gemiddelde COP Koude             | 3,05          |                 | Gemiddelde COP Koude             | 3,11          |                 |
| Pketel                           | 30.609 kWh    | € 1.479         | Pketel                           | 21.704 kWh    | € 1.049         | Pketel                           | 19.510 kWh    | € 943           | Pketel                           | 5.185 kWh     | € 251           |
| Onbalans                         |               |                 | Onbalans                         |               |                 | Onbalans                         |               |                 | Onbalans                         |               |                 |
| Onbalans vanaf koude             | 391.131 kWh   |                 | Onbalans vanaf koude             | 380.738 kWh   |                 | Onbalans vanaf koude             | 361.882 kWh   |                 | Onbalans vanaf koude             | 376.788 kWh   |                 |
| m.b.v droge koeler               | 353.311 kWh   |                 | m.b.v droge koeler               | 353.311 kWh   |                 | m.b.v droge koeler               | 353.311 kWh   |                 | m.b.v droge koeler               | 353.311 kWh   |                 |
| Pelektrisch DK                   | 17.666 kWh    | € 1.481         | Pelektrisch DK                   | 17.666 kWh    | € 1.481         | Pelektrisch DK                   | 17.666 kWh    | € 1.481         | Pelektrisch DK                   | 17.666 kWh    | € 1.481         |
| Overige Koude                    | 37.820 kWh    |                 | Overige Koude                    | 27.427 kWh    |                 | Overige Koude                    | 8.571 kWh     |                 | Overige Koude                    | 23.477 kWh    |                 |
| Pketel opwarmen koude            | 37.820 kWh    |                 | Pketel opwarmen koude            | 27.427 kWh    |                 | Pketel opwarmen koude            | 8.571 kWh     |                 | Pketel opwarmen koude            | 23.477 kWh    |                 |
| Ontlasten Warmtepomp d.m.v Ketel |               |                 | Ontlasten Warmtepomp d.m.v Ketel |               |                 | Ontlasten Warmtepomp d.m.v Ketel |               |                 | Ontlasten Warmtepomp d.m.v Ketel |               |                 |
| Opgewekte koude WP               | 799.535 kWh   |                 | Opgewekte koude WP               | 799.535 kWh   |                 | Opgewekte koude WP               | 799.535 kWh   |                 | Opgewekte koude WP               | 799.535 kWh   |                 |
| Pelektrisch WP                   | 214.811 kWh   | € 18.005        | Pelektrisch WP                   | 236.169 kWh   | € 19.795        | Pelektrisch WP                   | 262.506 kWh   | € 22.002        | Pelektrisch WP                   | 257.187 kWh   | € 21.556        |
| Opgewekte warmte WP              | 1.014.346 kWh |                 | Opgewekte warmte WP              | 1.035.703 kWh |                 | Opgewekte warmte WP              | 1.062.041 kWh |                 | Opgewekte warmte WP              | 1.056.722 kWh |                 |
| Pketel ontlasten WP              | 47.981 kWh    | € 2.318         | Pketel ontlasten WP              | 35.529 kWh    | € 1.717         | Pketel ontlasten WP              | 11.385 kWh    | € 550           | Pketel ontlasten WP              | 31.028 kWh    | € 1.499         |
| <b>Totaal</b>                    |               | <b>€ 23.282</b> | <b>Totaal</b>                    |               | <b>€ 24.040</b> | <b>Totaal</b>                    |               | <b>€ 24.975</b> | <b>Totaal</b>                    |               | <b>€ 24.787</b> |
| Situatie Conventioneel           |               |                 | Situatie Conventioneel           |               |                 | Situatie Conventioneel           |               |                 | Situatie Conventioneel           |               |                 |
| Opgewekte warmte                 | 1.092.935 kWh | € 52.805        | Opgewekte warmte                 | 1.092.935 kWh | € 52.805        | Opgewekte warmte                 | 1.092.935 kWh | € 52.805        | Opgewekte warmte                 | 1.092.935 kWh | € 52.805        |
| Opgewekte koude KM               | 446.224 kWh   |                 | Opgewekte koude KM               | 446.224 kWh   |                 | Opgewekte koude KM               | 446.224 kWh   |                 | Opgewekte koude KM               | 446.224 kWh   |                 |
| Pelektrisch KM                   | 125.629 kWh   | € 10.530        | Pelektrisch KM                   | 124.755 kWh   | € 10.456        | Pelektrisch KM                   | 141.834 kWh   | € 11.888        | Pelektrisch KM                   | 140.942 kWh   | € 11.813        |
| <b>Totaal</b>                    |               | <b>€ 63.335</b> | <b>Totaal</b>                    |               | <b>€ 63.262</b> | <b>Totaal</b>                    |               | <b>€ 64.693</b> | <b>Totaal</b>                    |               | <b>€ 64.619</b> |
| <b>Besparing</b>                 |               | <b>€ 40.053</b> | <b>Besparing</b>                 |               | <b>€ 39.221</b> | <b>Besparing</b>                 |               | <b>€ 39.718</b> | <b>Besparing</b>                 |               | <b>€ 39.832</b> |

Tabel 16: Besparing Trane

Carrier

IBK

York

De warmtepompen uit tabel 16 liggen allen rond de 600 kW en hebben een besparing van ongeveer €40.000,- per jaar ten opzichte van een conventionele installatie. Dit voorbeeld is ook van toepassing op de warmtepompen met een groter of kleiner vermogen; het verschil in besparing blijft klein.



## Bijlage 12 Emissies

### CO<sub>2</sub> emissie

Wanneer wordt nagedacht over het toepassen van een warmtepompsysteem gebeurt dat vaak uit 'groene' overwegingen, bijvoorbeeld in het kader van een duurzaam project. In dat perspectief is de CO<sub>2</sub> reductie een belangrijk gegeven. Om een zo nauwkeurig mogelijk beeld te vormen is de CO<sub>2</sub> uitstoot van de verbranding van één m<sup>3</sup> gas evenals de opwekking van één kWh elektriciteit meegenomen.

Om te berekenen hoeveel kg CO<sub>2</sub> er ontstaat bij de verbranding van één m<sup>3</sup> Gronings aardgas moet naar de samenstelling van dit gas gekeken worden. Deze is als volgt:

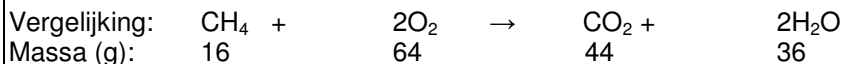
| Component                                  | volume percentage | mol percentage | massa percentage |
|--------------------------------------------|-------------------|----------------|------------------|
| Methaan (CH <sub>4</sub> )                 | 81,30             | 81,29          | 69,97            |
| Ethaan (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )    | 2,85              | 2,87           | 4,63             |
| Propana (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )   | 0,37              | 0,38           | 0,90             |
| Butaan (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )   | 0,14              | 0,15           | 0,47             |
| Pentaaan (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> ) | 0,04              | 0,04           | 0,16             |
| Hexaan (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )   | 0,05              | 0,05           | 0,23             |
| Kooldioxide (CO <sub>2</sub> )             | 0,89              | 0,89           | 2,10             |
| Stikstof (N <sub>2</sub> )                 | 14,35             | 14,32          | 21,52            |
| Zuurstof (O <sub>2</sub> )                 | 0,01 +            | 0,01 +         | 0,02 +           |
| <i>Totaal</i>                              | <i>100 %</i>      | <i>100 %</i>   | <i>100 %</i>     |

Tabel 17: Samenstelling Gronings aardgas (Bron: Nederlandse Gasunie)

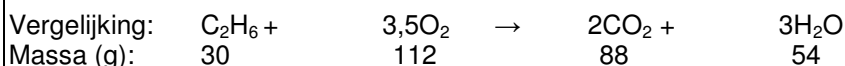
De soortelijke massa van Gronings aardgas is 0,833 kg/m<sup>3</sup>.

### Berekening CO<sub>2</sub> aardgas

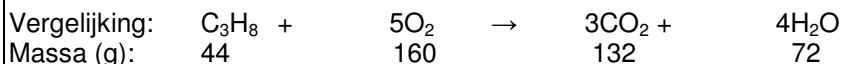
Bij volledige verbranding van Gronings aardgas horen de volgende reactievergelijkingen:



Verhouding CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> = 44/16 = 2,75  
 0.833 kg/m<sup>3</sup> \* 69,97% \* 2,75 = 1,603 kg/m<sup>3</sup>



Verhouding CO<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 88/30 = 2,9  
 0.833 kg/m<sup>3</sup> \* 4,63% \* 2,9 = 0,113 kg/m<sup>3</sup>



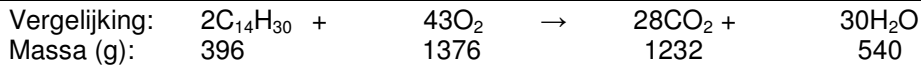
Verhouding CO<sub>2</sub>/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 132/44 = 3  
 0.833 kg/m<sup>3</sup> \* 0,90% \* 3 = 0,023 kg/m<sup>3</sup>

Totale CO<sub>2</sub> productie komt hierbij op: 1,603 kg/m<sup>3</sup> + 0,113 kg/m<sup>3</sup> + 0,023 kg/m<sup>3</sup> = 1,738 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Gronings aardgas.

31,65 MJ / 3,6 = 8,79 kWh warmte.

Met een rendement van 48% = 1,738 (kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) / 8,79 (kWh) / 0,48 = 412 g/kWh elektriciteit.

### Berekening CO<sub>2</sub> stookolie

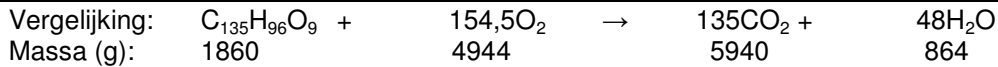


Verhouding  $CO_2/C_{14}H_{30} = 1232/396 = 3,11$   
 $950 \text{ kg/m}^3 \cdot 3,11 = 2955,6 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3 \rightarrow = 3,11 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$

40 MJ / 3,6 = 11,11 kWh warmte.

Met een rendement van 40%:  $3,11 \text{ (kg CO}_2/\text{kg)}/11,11 \text{ (kWh)}/0,4 = 700 \text{ g/kWh elektriciteit}$ .

### Berekening CO<sub>2</sub> steenkool



Verhouding  $CO_2/C_{135}H_{96}O_9 = 5940/1860 = 3,19$   
 $950 \text{ kg/m}^3 \cdot 3,19 = 3033,9 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3 \rightarrow = 3,19 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$

29 MJ / 3,19 = 8,06 kWh warmte.

Met een rendement van 40%:  $3,19 \text{ (kg CO}_2/\text{kg)}/8,06 \text{ (kWh)}/0,4 = 991 \text{ g/kWh elektriciteit}$ .

### Berekening CO<sub>2</sub> elektriciteit

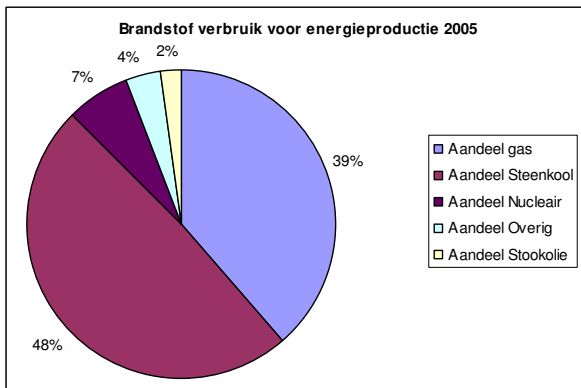
Om elektriciteit te produceren worden in elektriciteitscentrales brandstoffen gestookt. Hieronder zijn de aandelen brandstof in de elektriciteitsvoorziening van 2005 berekend aan de hand van gegevens van het CBS:

- 48% steenkool
- 39% aardgas (voornamelijk STEG)
- 2% stookolie
- 7% nucleair
- 4% overig (duurzame energie)

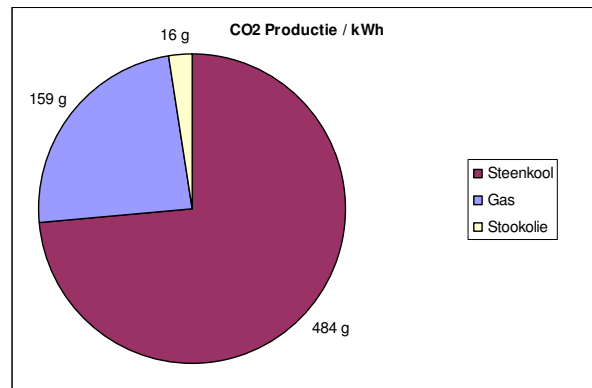
Bij energieproductie uit nucleaire en duurzame energie ontstaat een te verwaarlozen percentage CO<sub>2</sub> deze worden daarom niet meegenomen in de CO<sub>2</sub> berekening.

Het rendement van een olie of steenkoolcentrale bedraagt gemiddeld 40%; dit leidt tot een CO<sub>2</sub> emissie van 991 g/kWh voor steenkool en 700 g/kWh voor stookolie.

Voor aardgas wordt verondersteld dat het rendement gemiddeld 48% bedraagt, wat leidt tot een CO<sub>2</sub> emissie van de elektriciteitsproductie met aardgas van 412 g/kWh.



Figuur 31: Brandstofverbruik voor energieproductie



Figuur 32: CO<sub>2</sub> productie per kWh

Totaal brandstofverbruik in 2005: stookolie 2%, steenkool 48% en aardgas 39%.

De totale CO<sub>2</sub> emissie wordt dan als volgt bepaald:

CO<sub>2</sub>-factor:  $(0,48 \cdot 991 + 0,02 \cdot 700 + 0,39 \cdot 412) = 659 \text{ g/kWh}$ .

### Bepaling CO<sub>2</sub> Nederlandse Energiecentrale

Omdat het onduidelijk is hoeveel CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> uitstoot in een kWh elektriciteit van een energiecentrale komt, kan niet berekend worden hoeveel CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> uitstoot wordt veroorzaakt door een WKO installatie aangezien deze voornamelijk op elektriciteit werkt. Om dit te bepalen moet gekeken worden naar de brandstoffen die gebruikt worden in energiecentrales.

|                 |                     | Totaal inzet | Aardgas inzet | Stookolie inzet | Kolen inzet | Productie elektriciteit |
|-----------------|---------------------|--------------|---------------|-----------------|-------------|-------------------------|
|                 | Type installatie    | TJ           | 1000m3        | 1000kg          | 1000kg      | MWh                     |
| <b>WKK</b>      | Gasmotor            | 56.376       | 1.718.362     |                 |             | 5.289.793               |
|                 | Stoomturbine        | 152.472      | 545.042       | 265.915         | 3.348.150   | 12.784.549              |
|                 | Gasturbine          | 110.216      | 2.938.078     |                 |             | 6.484.338               |
|                 | Nucleaire-eenheid   |              |               |                 |             |                         |
|                 | Waterkrachtcentrale |              |               |                 |             |                         |
|                 | Windturbine         |              |               |                 |             |                         |
|                 | Zonne-energie       |              |               |                 |             |                         |
| <b>Niet WKK</b> | Gasmotor            | 102          | 3.210         |                 |             | 11.031                  |
|                 | Stoomturbine        | 273.973      | 2.338.833     | 7.566           | 4.899.448   | 28.858.152              |
|                 | Gasturbine          | 1.087        | 34.353        |                 |             | 88.528                  |
|                 | Nucleaire-eenheid   | 41.296       |               |                 |             | 3.997.456               |
|                 | Waterkrachtcentrale |              |               |                 |             | 88.000                  |
|                 | Windturbine         |              |               |                 |             | 2.065.000               |
|                 | Zonne-energie       |              |               |                 |             | 34.199                  |

Tabel 18: Brandstofverbruik energiecentrales 2005 (bron: CBS)

In tabel 18 wordt weergegeven hoeveel energie in totaal is ingezet, met welk systeem de elektriciteit is opgewekt en hoeveel brandstof dit in totaal heeft gekost. Verder is ook af te lezen hoeveel elektriciteit geproduceerd is aan de hand van de ingezette energie.

Aan de hand van deze gegevens is bepaald wat het aandeel gas, kolen en stookolie van de totale geproduceerde elektriciteit is en uitstoot die ze veroorzaken. Nucleaire, waterkracht, wind- en zonne-energie veroorzaken geen uitstoot, waardoor het irrelevant is om hier verder naar te kijken. Ze worden wel meegenomen in de berekening om een totaalbeeld te creëren van de totale elektriciteitsopwekking.

In de tabel hieronder wordt weergegeven hoeveel energie de fossiele brandstoffen bevatten.

|              | Hoeveelheid | Energieinhoud (GJ) | Elektriciteit (MWh) |
|--------------|-------------|--------------------|---------------------|
| <b>Kolen</b> | 1000 kg     | 29                 | 8,06                |
| <b>Olie</b>  | 1000 kg     | 40                 | 11,11               |
| <b>Gas</b>   | 1000 m3     | 31,65              | 8,79                |

Tabel 19: Energie inhoud fossiele brandstoffen (Bron: Binas)

Een stoomturbine kan gestookt worden met verschillende brandstoffen. In combinatie met deze gegevens is vervolgens bepaald hoeveel energie in totaal geleverd wordt met de fossiele brandstoffen met een stoomturbine.

| Aardgas                   | Gas               | Stookolie         | Kolen              | totaal  |
|---------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------|
| <b>Hoeveelheid</b>        | 2.883.875.000 m3  | 273.481.000 kg    | 8.247.598.000 kg   |         |
| <b>Energieinhoud</b>      | 31,65 MJ/m3       | 40 MJ/kg          | 29 MJ/kg           |         |
| <b>Totale energie</b>     | 91.274.643.750 MJ | 10.939.240.000 MJ | 239.180.342.000 MJ |         |
| <b>Totale energie</b>     | 91.275 TJ         | 10.939 TJ         | 239.180 TJ         | 341.394 |
| <b>Aandeel van totaal</b> | 26,74%            | 3,20%             | 70,06%             | 100,00% |

Tabel 20: Brandstofverbruik stoomturbines

Uit de tabel 20 komt naar voren dat het aandeel van kolen boven gas en stookolie ligt. 70% van de totale energie die is opgewekt met een fossiele brandstof, wordt door kolen geleverd. Gas, die een schonere verbranding heeft dan kolen, levert 30%. Dit is ongewenst voor de uitstoot, maar met de stijgende gasprijzen is het stoken met kolen goedkoper.

Met het bepaalde aandeel van de stoomturbine is vervolgens een tabel samengesteld waarbij alle typen installaties zijn meegenomen.

| Waarden in MWh    |            | Aandeel gas | Aandeel Steenkool | Aandeel Nucleair | Aandeel Overig | Aandeel Stookolie |
|-------------------|------------|-------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------|
| Gasmotor          | 5.300.824  | 5.300.824   |                   |                  |                |                   |
| Stoomturbine      | 41.642.701 | 11.133.530  | 29.174.821        |                  |                | 1.334.350         |
| Gasturbine        | 6.572.866  | 6.572.866   |                   |                  |                |                   |
| Nucleaire-eenheid | 3.997.456  |             |                   | 3.997.456        |                |                   |
| Overig            | 2.187.199  |             |                   |                  | 2.187.199      |                   |
| Totaal            | 59.701.046 | 23.007.220  | 29.174.821        | 3.997.456        | 2.187.199      | 1.334.350         |
|                   |            | 38,54%      | 48,87%            | 6,70%            | 3,66%          | 2,24%             |

Tabel 21: Brandstofaandeel per opwekking

Het aandeel steenkool daalt naar 48%. Dit komt omdat extra elektriciteit wordt opgewekt door middel van gasmotoren en gasturbines. Nucleaire en 'overige energie' worden ook meegeteld. In totaal is 59.701.046 MWh aan elektriciteit geproduceerd, waarvan gas een aandeel heeft van 39%, steenkool 49%, nucleair 7%, overig 4% en stookolie 2%.

In het hoofdstuk CO<sub>2</sub> reductie is bepaald wat de uitstoot per kWh is voor de fossiele brandstoffen. Door hier de bovenstaande percentages op toe te passen ontstaat er het volgende resultaat.

| CO <sub>2</sub> Productie | kg CO <sub>2</sub> / kWh | Aandeel kg CO <sub>2</sub> / kWh | Totaal                         |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Steenkool                 | 0,991                    | 0,484                            | 0,659 kg CO <sub>2</sub> / kWh |
| Gas                       | 0,412                    | 0,159                            |                                |
| Stookolie                 | 0,700                    | 0,016                            |                                |

Tabel 22: CO<sub>2</sub> productie per kWh

Hieruit volgt dat er 0,659 kg CO<sub>2</sub> productie per kWh elektriciteit ontstaat uit de Nederlandse energiecentrales.

### NO<sub>x</sub> emissie

Om het NO<sub>x</sub> aandeel te bepalen moet gekeken worden naar het aandeel van de verschillende brandstoffen. In tabel 23 is er gekeken naar het aantal TJ aan brandstof dat is ingezet gedurende het jaar 2005.

| Waarden in TJ     |         | Aandeel gas | Aandeel Steenkool | Aandeel Nucleair | Aandeel Overig | Aandeel Stookolie |
|-------------------|---------|-------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------|
| Gasmotor          | 56.478  | 56.478      |                   |                  |                |                   |
| Stoomturbine      | 426.445 | 114.014     | 298.767           |                  |                | 13.665            |
| Gasturbine        | 111.303 | 111.303     |                   |                  |                |                   |
| Nucleaire-eenheid | 41.296  |             |                   | 41.296           |                |                   |
| Overig            | 0       |             |                   |                  | 0              |                   |
| Totaal            | 635.522 | 281.795     | 298.767           | 41.296           | 0              | 13.665            |
|                   |         | 44,34%      | 47,01%            | 6,50%            | 0,00%          | 2,15%             |

Tabel 23: Brandstofaandeel per opwekking

Eerst moet bepaald worden hoeveel emissie in een energiecentrale gemiddeld wordt geproduceerd. In tabel 24 worden de emissies van de afgelopen jaren weergegeven.

### Gemiddelde NO<sub>x</sub> emissiefactoren voor energiecentrales

| Jaar         | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|--------------|------|------|------|------|------|
| Kolen [g/GJ] | 104  | 110  | 102  | 103  | 95   |
| Gas [g/GJ]   | 38   | 43   | 46   | 47   | 46   |

Tabel 24: NO<sub>x</sub> emissiefactoren (Bron: ECN)

Omdat geen gegevens bekend zijn voor het jaar 2005, is verder gerekend met de emissiefactoren uit 2004.

Aan de hand van de gegevens uit tabel 23 en 24 kan bepaald worden hoeveel gram emissie is ontstaan. Het totale aantal GJ is hierbij vermenigvuldigd met de emissiefactoren. Bij stookolie is dezelfde waarde gebruikt als bij steenkool. De resultaten hiervan staan weergegeven in tabel 25.

|                                 | Aandeel gas    | Aandeel Steenkool | Aandeel Nucleair | Aandeel Overig | Aandeel Stookolie |
|---------------------------------|----------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------|
| geproduceerde GJ                | 281.794.690    | 298.766.802       | 41.296.000       | 0              | 13.664.508        |
| geproduceerde g NO <sub>x</sub> | 12.962.555.744 | 28.382.846.161    | 0                | 0              | 1.298.128.280     |
| Aandeel Percentage              | 30,40%         | 66,56%            | 0,00%            | 0,00%          | 3,04%             |

Tabel 25: Percentage NO<sub>x</sub> per type brandstof

Door het aantal kg NO<sub>x</sub> per energiebron te delen door de geproduceerde energie over het jaar is berekend hoeveel NO<sub>x</sub> productie per kWh ontstaat.

| Geprod. energie          | Aandeel gas    | Aandeel Steenkool | Aandeel Nucleair | Aandeel Overig | Aandeel Stookolie | Totaal                       |
|--------------------------|----------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------|------------------------------|
| Aantal MWh               | 23.007.220     | 29.174.821        | 3.997.456        | 2.187.199      | 1.334.350         | 59.701.046                   |
| Aantal g NO <sub>x</sub> | 12.962.555.744 | 28.382.846.161    | 0                | 0              | 1.298.128.280     | 42.643.530.185               |
| g NO <sub>x</sub> / MWh  | 563,413        | 972,854           | 0                | 0              | 972,854           | 714,2844731                  |
| g NO <sub>x</sub> / kWh  | 0,563          | 0,973             | 0                | 0              | 0,973             |                              |
| Aandeel 1 kWh            | 0,217          | 0,475             | 0                | 0              | 0,022             | 0,714 g NO <sub>x</sub> /kWh |

Tabel 26: NO<sub>x</sub> uitstoot per kWh

Dit komt neer op een totaal van  $0,217 + 0,475 + 0,022 = 0,714$  gram NO<sub>x</sub>/kWh.

Een WKO installatie gebruikt minder gas dan een conventionele installatie. Hierdoor wordt minder NO<sub>x</sub> door de installatie uitgestoten. De gemiddelde NO<sub>x</sub> emissiefactor was in 2004 0,046 g/NO<sub>x</sub> per MJ. Dit betekent dat er 1,4559 gram NO<sub>x</sub> per m<sup>3</sup> aardgas geproduceerd wordt.

### SO<sub>2</sub> Emissie

De totale SO<sub>2</sub> emissie is berekend aan de hand van gegevens van het SenterNovem. Dit omdat onduidelijk was hoeveel SO<sub>2</sub> er ontstaat bij de verbranding van steenkool en stookolie. Bij de verbranding van één m<sup>3</sup> Gronings aardgas ontstaat 0,016 gram SO<sub>2</sub>. Voor de productie van één kWh elektriciteit in het jaar 2005 ontstond 0,425 gram SO<sub>2</sub>.



## Bijlage 13 Rendementsbepaling

### **COP waarde**

De COP waarde geeft de verhouding aan tussen de hoeveelheid elektrische energie die de warmtepomp nodig heeft voor het verdampings- en condensatieproces en de hoeveelheid warmte die de warmtepomp afgeeft.

Een COP van 1 betekent dat de warmtepomp evenveel energie gebruikt als dat hij aan warmte afgeeft. In dit geval levert het geen voordeel op. De meeste warmtepompen hebben op dit moment een COP van gemiddeld 3,5. De COP kan worden gezien als maat voor het energetisch rendement van het warmtepompsysteem. Hoe hoger de waarde van de COP, hoe hoger het energetisch rendement.

De formule om de COP te berekenen voor verwarmen is hieronder weergegeven:

$$COP_{\text{verwarmen}} = \frac{\text{Geleverde warmte}}{\text{Toegevoerde elektrische energie}}$$

Hierbij is de geleverde warmte, de warmte die wordt onttrokken verdamperzijdig, plus de warmte die is ontstaan door middel van de elektrisch toegevoerde energie.

Wanneer de warmtepomp in koelbedrijf is ziet de formule ziet er als volgt uit:

$$COP_{\text{koelen}} = \frac{\text{Geleverde koude}}{\text{Toegevoerde elektrische energie}} = COP_{\text{verwarmen}} - 1$$

De  $COP_{\text{koelen}}$  is exact één lager dan de  $COP_{\text{verwarmen}}$  omdat bij verwarmen de toegevoerde elektrische energie in warmte wordt omgezet.



## Bijlage 14 Regelingen seizoenen

### **Bedrijfsvoeringen**

In een jaar moet op verschillende manieren worden geregeld. In de winter moet verwarmd worden en in de zomer gekoeld. Daarom zijn een aantal regelingen bedacht om het binnenklimaat optimaal te regelen.

### **Winterbedrijf**

Wanneer het systeem registreert dat de warmtevraag groter wordt dan de koudevraag, treedt de winterregeling in werking. In deze regeling regelt de warmtepomp op de warmtevraag en functioneert tevens als koeler van het GKW-net. De buitentemperatuur ligt onder de 1 °C en de drogekoeler kan ook worden ingezet als nakoeler als dit nodig is. In de winter is altijd koudevraag in het gebouw.

### **Tussenbedrijf**

Bij tussenbedrijf is de warmtevraag hoger dan de koudevraag. De warmtepomp regelt hierbij op de warmtevraag en functioneert wederom als koeler voor het GKW-net.

De drogekoeler kan worden ingeschakeld wanneer de buitentemperatuur tussen 1 °C en 6 °C ligt. De warmtepomp is in bedrijf als nakoeler en de drogekoeler als voorkoeler. Het is ook mogelijk om extra koude te laden.

Wanneer de buitentemperatuur tussen de 6 °C en 17 °C ligt, wordt de drogekoeler uitgeschakeld. Bij deze temperaturen kan de koudestroom van de gebruiker of bron niet verder worden gekoeld.

### **Zomerbedrijf**

Wanneer er een koudevraag is, maar geen warmtevraag, wordt de zomerregeling ingeschakeld. Hierbij is de buitentemperatuur hoger dan 17 °C.

In deze regeling wordt geen warmte aan het gebouw geleverd, alleen koude. De koude wordt uit de koude bron gehaald en wanneer nodig, extra gekoeld met de warmtepomp. De ontstane warmte aan de condensorzijde wordt gebruikt om de warme bron te laden.

Het is mogelijk om de drogekoeler in te zetten om de warme bron te laden wanneer de warmtepomp is uitgeschakeld.

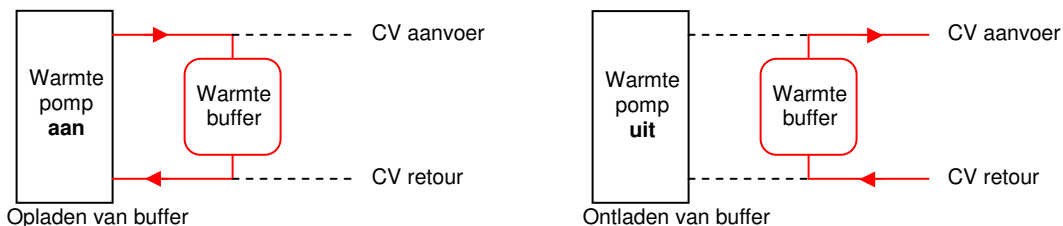
## Winterbedrijf

### Situatie: $P_{CV} < P_{min.WP}$

- Het gevraagde CV vermogen is kleiner dan het minimale vermogen van de warmtepomp.

In de winter is het mogelijk dat de CV gebruikers minder warmte vragen dan de warmtepomp minimaal kan leveren. Een warmtepomp werkt vaak pas bij een deellast vermogen van ongeveer 20%. Bij het systeem wordt een warmtepomp van de fabrikant Carrier gebruikt die bij 20% al 140 kW vermogen aan de condensorzijde kan leveren. Wanneer de vraag maar 50 kW is, is er een overschot van 90 kW.

In deze situatie wordt de warmtebuffer opgeladen. Het warme water stroomt deels door de warmtebuffer heen en door het CV-net tot de maximum intredetemperatuur van de condensorzijde is bereikt. Wanneer het maximum is bereikt schakelt de warmtepomp zich uit en wordt de buffer ontladen.



Wanneer de warmtebuffer geheel ontladen is en de minimum temperatuur is bereikt en er is nog steeds een warmtevraag, schakelt de warmtepomp in en wordt de buffer opnieuw gevuld. De verdamperszijde van de warmtepomp wordt geregeld op 6°C uittredetemperatuur. De koeling voor het gebouw wordt afgenomen en de restkoude wordt gebruikt om de koude bron te laden.

### Situatie: $P_{koude \text{ warmtepomp}} > P_{min.aquilaad}$

- Vermogen warmtepomp is groot genoeg om koude te laden

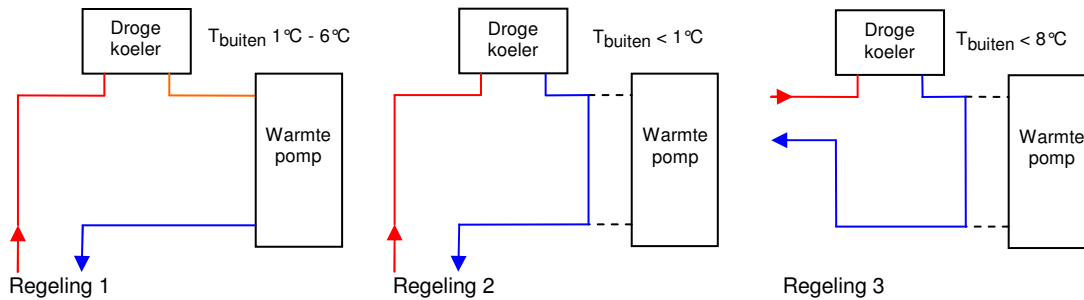
Wanneer de warmtepomp in de winter in bedrijf is, wordt koude gegenereerd. Als dit vermogen voldoet aan het minimale vermogen waarbij de bron geladen kan worden, kan de drogekoeler worden ingezet.

De drogekoeler kan op twee voorwaarden worden ingezet.

- Als de buitentemperatuur onder een bepaalde grens komt.
- Als de koude bron extra moet worden geladen.

De verschillende regelingen bij de buitentemperatuur staan hieronder weergegeven.

1. Buitentemperatuur tussen 1°C en 6°C → voorkoeler: de drogekoeler zal worden ingezet als voorkoeler. De warmtepomp zal vervolgens worden gebruikt als nakoeler.
2. Buitentemperatuur onder 1°C → de drogekoeler produceert de benodigde koude. De warmtepomp staat in deze situatie uit (bijv. nachtsituatie).
3. Buitentemperatuur < 8°C → de drogekoeler levert vrije koeling aan het GKW-net. De warmtepomp staat uit.



**Situatie:  $P_{\text{koude warmtepomp}} < P_{\text{min. aquilaad}}$**

- Vermogen warmtepomp is te klein om koude te laden

Het kan voorkomen dat het vermogen aan de verdamperzijde van de warmtepomp te klein is om de bron te laden. Als het vermogen te klein is, moet een kleiner debiet gaan stromen. Als het debiet kleiner is dan de pompen aankunnen, kan de koude of warmte niet goed worden afgegeven.

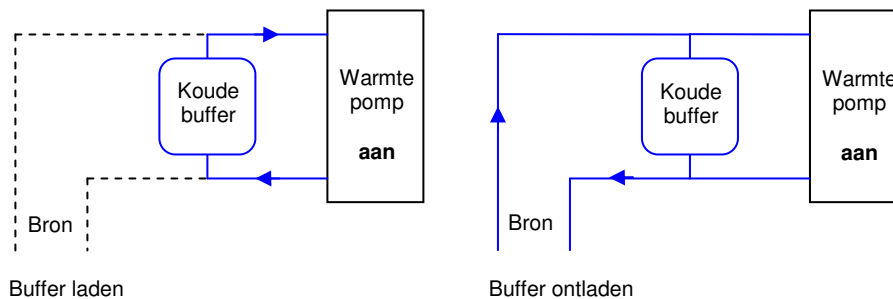
Hierdoor wordt het injectiewater van de koude bron niet voldoende afgekoeld waardoor de bron "thermisch vervuild" raakt. Om dit te voorkomen dient in deze situatie de GKW-buffer te worden benut.

**Laden buffer:**

Door het sluiten van de injectie regelafsluiter wordt de geproduceerde koeling opgeslagen in de buffer met een temperatuur van 6°C water, totdat de buffer opgeladen is. In deze situatie staat de bronpomp uit.

**Ontladen buffer:**

Wanneer de buffer opgeladen is, start de bronpomp en wordt de injectie regelafsluiter vrijgegeven. Hierbij dient de injectie regelafsluiter te worden geregeld op een injectietemperatuur van de koude bron, van 7°C. Wanneer de buffer leeg is, dient de bronpomp gestopt te worden en de regelafsluiter te worden gesloten, waarna de buffer weer geladen kan worden.



**Situatie:  $P_{\text{CV}} < P_{\text{WP}}$  en  $P_{\text{CV}} > P_{\text{min.WP}}$**

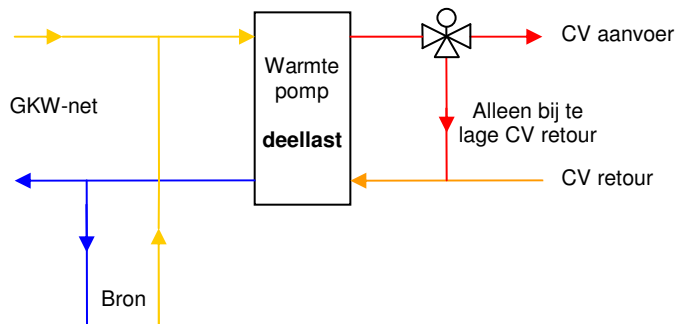
- Het gevraagde CV vermogen is kleiner dan het vermogen van de warmtepomp.
- Het gevraagde CV vermogen is groter dan de warmtepomp minimaal kan leveren.

De warmtepomp levert de benodigde warmte aan het CV-net. De warmtepomp draait in deellast en de regeling in de warmtepomp bepaald continu het opgewekte vermogen zodat deze voldoet aan het gevraagde CV vermogen.

Via de setpointverstelling (de gewenste CV temperatuur) wordt de uittredetemperatuur van de warmtepomp bepaald.

Bij zeer lage retourtemperaturen dient de driewegregelafsluiter zodanig geregeld te worden dat aan de gewenste aanvoerwatertemperatuur van het CV-net wordt voldaan.

Aan de verdamperzijde wordt de warmtepomp geregeld op een uittredetemperatuur van 6°C. De gevraagde koeling van het gebouw wordt afgenomen door de afnemers van het GKW-net. De overige koude wordt gebruikt om de koude bron te laden.



Warmtepomp voor warmte en koude levering

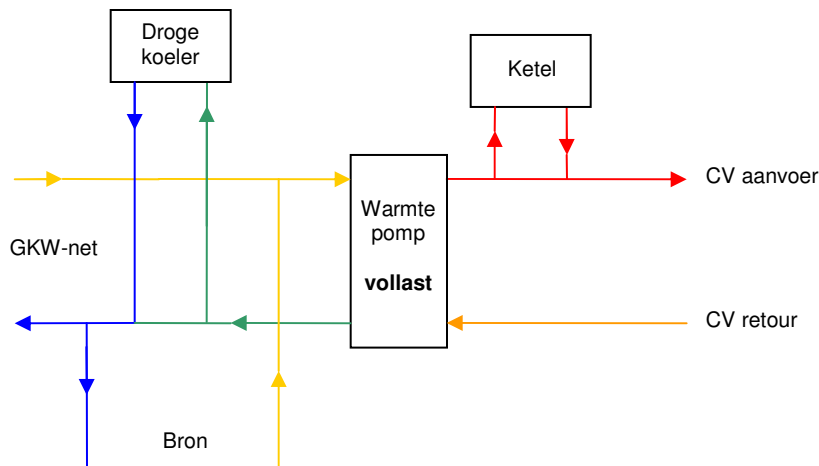
### Situatie: $P_{CV} > P_{WP}$ en $P_{CV} > P_{WP} + P_{CK}$

- Het gevraagde vermogen van het CV-net is groter dan het vermogen van de warmtepomp en het gevraagde vermogen van het CV-net is kleiner dan het vermogen van de warmtepomp plus het vermogen van de ketel.

In deze situatie levert de warmtepomp in vollast maximaal vermogen aan het CV-net. De CV vraag is hoger waardoor de ketel moet inschakelen. De warmtepomp zal in vollast in werking blijven en de regeling van de ketel bepaald hoeveel deze moet bijstoken om aan de warmtevraag te voldoen.

Aan de verdamperzijde wordt de warmtepomp geregeld op een uittredewatertemperatuur van 6°C. De koeling wordt gebruikt om de koude bron te laden.

De koelvraag van het GKW-net wordt geleverd door de drogekoeler. De uittredetemperatuur van de koudeopwekking (warmtepomp en drogekoeler) moet samen 6°C zijn.



Warmtepomp in combinatie met ketel en drogekoeler

### Zomerbedrijf

In de zomer wordt het gevraagde vermogen door het CV-net primair geleverd door de warmtepomp waarbij gebruik gemaakt kan worden van de warmtebuffer wanneer de warmtepomp onder zijn minimum deellast komt.

Bij alle situaties waarin de warmtevraag de warmtepomp warmte leveren, wordt de opgewekte koeling gebruikt door het GKW-net of opgeslagen in de koude bron.

Het gevraagde GKW vermogen wordt door de aquifer geleverd. Wanneer dit vermogen te klein is, schakelt de warmtepomp in om extra koude te produceren. De opgewekte warmte wordt gebruikt door het CV-net of geladen in de warme bron.

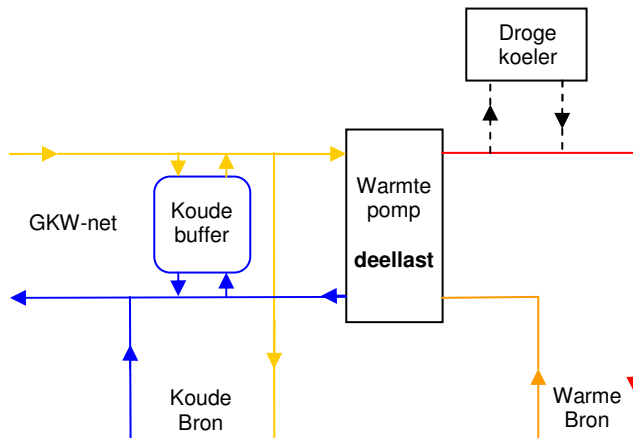
#### Situatie: $P_{koe} < P_{WP.koe}$ en $P_{WP.koe} - P_{koe} < P_{min.aquiferaad}$ en $P_{CV} = 0$

- Het gevraagde koelvermogen is kleiner dan het koelvermogen van de warmtepomp.
- Het koelvermogen van de warmtepomp min het vermogen van de koelvraag is kleiner dan het minimale vermogen van de aquifer.
- Er is in deze situatie geen warmtevraag van het CV-net.

In deze situatie levert de warmtepomp direct koude aan het GKW-net. Het setpoint van de koudwater-uitredetemperatuur van de warmtepomp in deze situatie 10°C. Het overschot aan koude wordt opgeslagen in de buffer.

Wanneer de buffer opgeladen is wordt de warmtepomp uitgeschakeld en wordt de GKW-buffer door middel van de pompen ontladen.

De condensatorwarmte wordt afgevoerd en opgeslagen in de warme bron of wanneer de bron in storting is afgevoerd door middel van de drogekoeler.

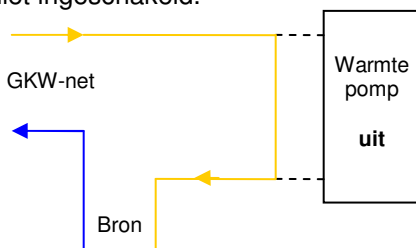


Regeling koeling zonder warmtevraag.

#### Situatie: $P_{koe} > P_{min.aquifer}$ en $P_{CV} = 0$

- Het gevraagde koelvermogen is groter dan het minimale vermogen van de aquifer.
- Er is in deze situatie geen warmtevraag door het CV-net.

In deze situatie wordt de benodigde koude geleverd door de aquiferinstallatie. De warmtepomp is niet ingeschakeld.

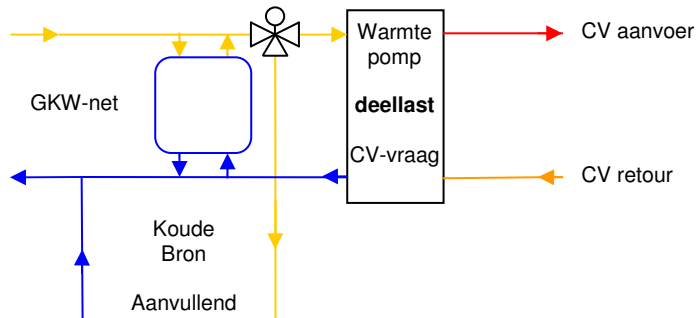


Regeling koeling waarbij de bron voldoende vermogen levert.

- Het gevraagde koelvermogen is groter dan het koelvermogen van de warmtepomp.
- Het gevraagde koelvermogen is groter dan het koelvermogen van de warmtepomp plus het minimale vermogen van de aquifer installatie.
- Het gevraagde koelvermogen is kleiner dan het koelvermogen van de warmtepomp plus het vermogen van de aquiferinstallatie.
- Er is in deze situatie een warmtevraag van het CV-net.

In deze situatie wordt de koeling gedeeltelijk verzorgd door de warmtepomp en de aquifer vult het vermogen aan tot het gewenste vermogen. In deze regeling wordt de warmtepomp uitsluitend geregeld op het gevraagde vermogen van het CV-net. De uittredewatertemperatuur van de warmtepomp wordt geregeld op 10°C. De regelafsluiter regelt het aanvullen van het GKW-net door middel van de koude bron.

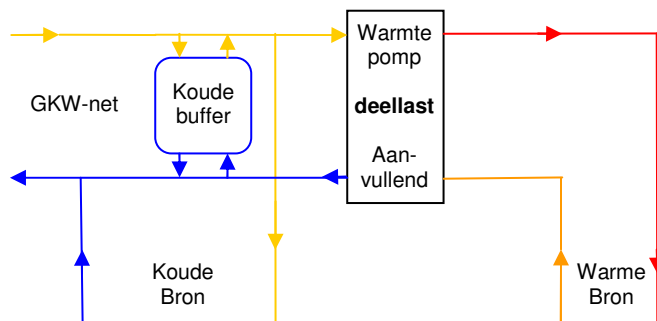
In principe wordt de GKW buffer niet geladen, maar om een goede regeling mogelijk te maken en variaties op te vangen is de voorkeur om de GKW buffer minimaal te laden. Bij een opgeladen buffer kan de aquifer worden gestopt en kan de GKW buffer worden ontladen.



Warmtepomp leidend en bron aanvullend met warmtevraag.

Wanneer de warmtevraag wegvalt, moet de warmtepomp de aquifer aanvullen, waardoor de aquifer het meeste vermogen levert. Wanneer de warmtepomp aanvult en er geen warmtevraag is, wordt deze warmte geladen in de warme bron.

Wanneer er een kleine warmtevraag is met een kleiner vermogen dan de warmtepomp kan leveren, wordt een deel van deze warmte afgevoerd en geladen in de warme bron.



Bron leidend en warmtepomp aanvullend.

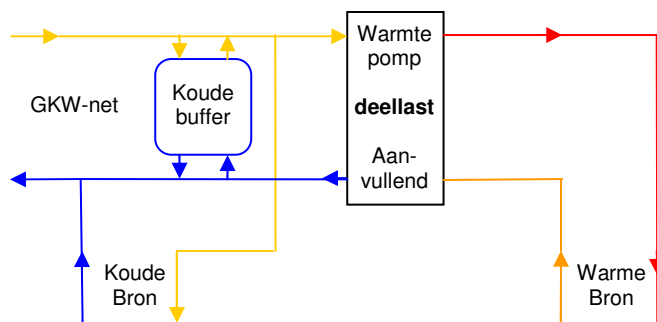
**Situatie:  $P_{koe} > P_{WP.koe}$  en  $P_{koe} > P_{WP.koe} + P_{aquifer}$**

- Het gevraagde koelvermogen is groter dan het koelvermogen van de warmtepomp.
- Het gevraagde koelvermogen is groter dan het koelvermogen van de warmtepomp plus het koelvermogen van de aquifer.

In deze situatie wordt de koeling verzorgd door de aquifer. De warmtepomp vult aan tot de gewenste hoeveelheid koeling.

In verband met minimum regelbaarheid van 20% moet de aquifer levering worden teruggeregeld om het continu aan- en uitschakelen van de warmtepomp te voorkomen.

In principe wordt de GKW buffer niet geladen, maar om een goede regeling mogelijk te maken en variaties op te vangen is de voorkeur om de GKW buffer minimaal te laden. Bij een geladen buffer kan de bronpomp worden gestopt en kan de GKW buffer worden ontladen.



Bron leidend en warmtepomp aanvullend.



## Bijlage 15 Meetgegevens

### Database

Om een inschatting te kunnen maken hoeveel gekoeld en verwarmd moet worden, is een database gebruikt van een al bestaand kantoorgebouw.

In deze database wordt om de 8 minuten informatie opgeslagen over de buitentemperatuur, aanvoer temperatuur van het CV-net, aanvoertemperatuur van de centrale die gekoeld moet worden en de vermogens die hierbij horen. Omdat het onhandelbaar is om met meer dan 65.000 meetresultaten over een jaar te werken is de lijst verkort naar meettijden van twee uur, waarbij het gemiddelde is genomen van de meetgegevens. Hierdoor blijft een lijst over met ongeveer 4.300 meetresultaten.

De gegevens is geanalyseerd nadat deze zijn opgesplitst in de vier seizoenen. Hierbij is gekozen voor de meteorologische seizoenen.

| Seizoen | Start       |
|---------|-------------|
| Winter  | 1 december  |
| Lente   | 1 maart     |
| Zomer   | 1 juni      |
| Herfst  | 1 september |

Tabel 27: Start van de meteorologische seizoenen

Een voorbeeld van deze gegevens uit de winter en zomer staat hieronder weergegeven. Uit deze resultaten komt naar voren dat er in het jaar 2005 een maximale warmtevraag was van 750 kW en een maximale koudevraag van 527 kW.

| <b>Zomer</b>     | Gemiddelde Buitentemp. | Gemiddelde Aanvoertemp. CV-net | Gemiddelde Centrale Aanvoertemp. | Gemiddelde Vermogen CV-net | Opgeteld vermogen 3 groepen |
|------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Datum            | °C                     | °C                             | °C                               | kW                         | kW                          |
| 01-06-2005 08:00 | 16,77                  | 33,97                          | 12,45                            | 31,060                     | 59,108                      |
| 01-06-2005 10:00 | 19,40                  | 30,31                          | 11,97                            | 14,160                     | 78,112                      |
| 01-06-2005 12:00 | 21,43                  | 28,49                          | 11,27                            | 13,892                     | 126,092                     |
| 01-06-2005 14:00 | 21,43                  | 27,75                          | 10,11                            | 10,136                     | 168,228                     |

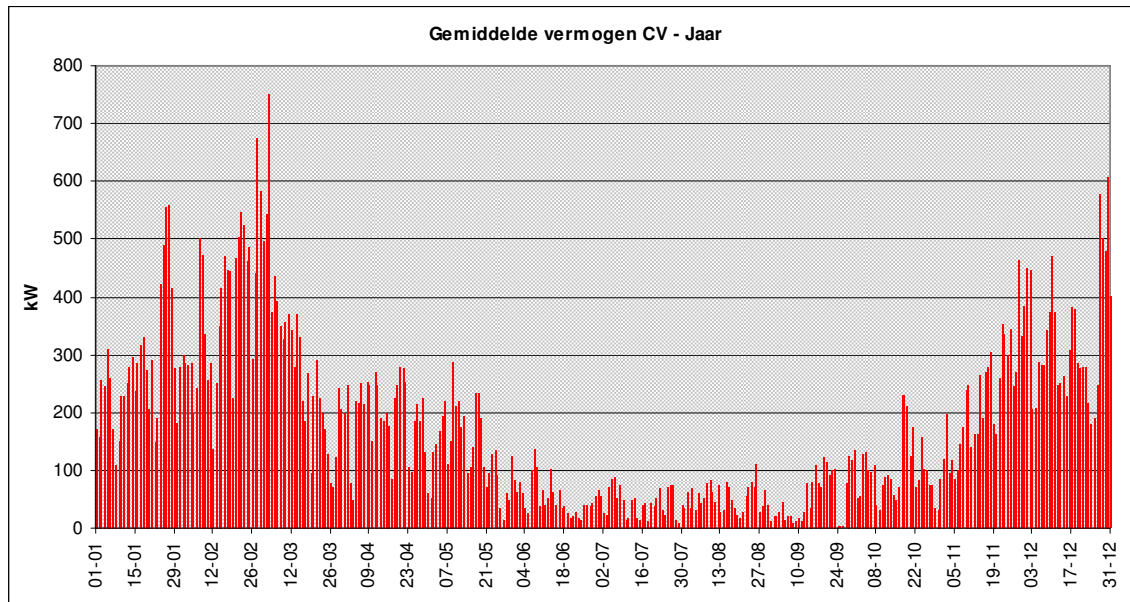
| <b>Winter</b>    | Gemiddelde Buitentemp. | Gemiddelde Aanvoertemp. CV-net | Gemiddelde Centrale Aanvoertemp. | Gemiddelde Vermogen CV-net | Opgeteld vermogen 3 groepen |
|------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Datum            | °C                     | °C                             | °C                               | kW                         | kW                          |
| 01-01-2005 02:00 | 6,17                   | 42,34                          | 8,10                             | 106,768                    | 0,060                       |
| 01-01-2005 04:00 | 4,87                   | 43,65                          | 7,27                             | 148,688                    | 0,060                       |
| 01-01-2005 06:00 | 4,08                   | 44,20                          | 6,99                             | 154,072                    | 0,060                       |
| 01-01-2005 08:00 | 4,21                   | 44,21                          | 7,37                             | 131,100                    | 0,060                       |

Tabel 28: Meetresultaten

## Vermogens

De getallen uit de database worden weergegeven in grafieken. De grafieken gelden voor het jaar 2005. Het jaar 2005 was een warmer jaar dan een gemiddeld jaar dankzij de warme herfst.

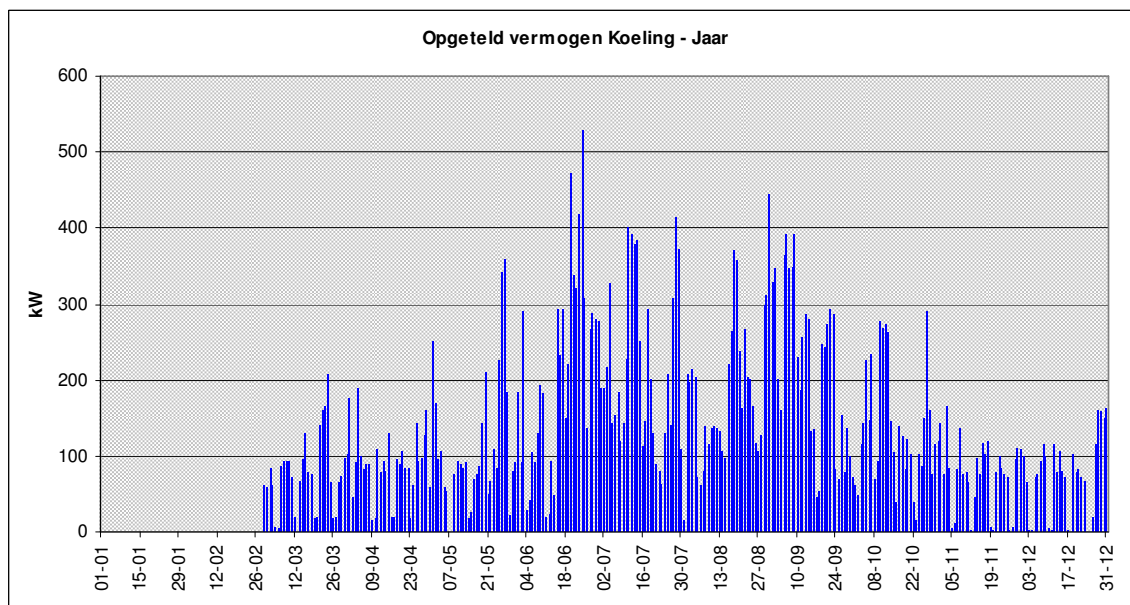
### Vermogen CV-net compleet jaar



Figuur 33: Gemiddelde vermogen CV-net 2005

Rond februari is er een piek tot ongeveer 750 kW en de meeste vermogensvraag ligt onder de 350 kW. In totaal wordt er een vermogen gevraagd van 970 MWh.

### Vermogen GKW-net compleet jaar



Figuur 34: Gemiddelde vermogen GKW-net 2005

Het koelvermogen ligt meestal onder de 200 kW met een aantal pieken in de zomer. In totaal wordt een vermogen gevraagd van 487 MWh.

Totale vermogens opgedeeld in de verschillende seizoenen.

|        | CV vraag | GKW vraag |
|--------|----------|-----------|
| Winter | 501 MWh  | 27 MWh    |
| Lente  | 254 MWh  | 93 MWh    |
| Zomer  | 46 MWh   | 225 MWh   |
| Herfst | 169 MWh  | 142 MWh   |

Tabel 29: Totaal gevraagd vermogen per seizoen

De meeste verwarming wordt gevraagd in de winter en de lente. De verwarmingspiekvraag ligt in het begin van de lente.

De meeste koude wordt gevraagd in de zomer. De herfst was relatief warm, waardoor er een grote koudevraag was.

### Aantal uren per regeling

Voor het project zijn een aantal regelingen beschreven waarvan de belangrijkste regelingen de winter-, tussen- en zomerregeling zijn. Om te kijken hoeveel uur per jaar een dergelijke regeling plaatsvindt, is een berekening gemaakt van de bekende gegevens van het jaar.

|                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Buitentemperatuur 2005                                                                      |
| Winterbedrijf $T_{bu} < 1\text{ }^{\circ}\text{C}$<br>592 uur                               |
| Tussenbedrijf $1\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{bu} < 6\text{ }^{\circ}\text{C}$<br>1450 uur  |
| Tussenbedrijf $6\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{bu} < 17\text{ }^{\circ}\text{C}$<br>4848 uur |
| Zomerbedrijf $T_{bu} > 17\text{ }^{\circ}\text{C}$<br>1834 uur                              |

Tabel 30: Aantal uur buitentemperatuur

De resultaten hiervan staan weergegeven in tabel 30. Hieruit volgt dat de meeste tijd van het jaar de tussenregeling plaatsvindt. De drogekoeler levert dan alleen vrije koeling. Tijdens winter- en zomerbedrijf kan de drogekoeler worden ingezet om koude of warmte in te vangen.



## Bijlage 16 Rekenmodel vermogens

Een warmtepomp heeft een karakteristiek dat het vermogen aan de condensorzijde en het elektriciteitsverbruik bepaalt bij verschillende deellasten. De COP waarden zijn hiervan afhankelijk, waardoor er niet gerekend kan worden met het totale vermogen en een vaste COP waarde om het elektriciteitsverbruik te berekenen.

Daarom is een model in gemaakt om nauwkeurig te bepalen hoeveel elektriciteit wordt verbruikt bij verschillende deellasten tijdens het bedrijf over het hele jaar.

Het model wordt in dit hoofdstuk uitgelegd aan de hand van tabel 31 voor het berekenen van koeling en tabel 32 voor het berekenen van verwarming. Deze tabellen zijn achter deze bijlage gevoegd en zijn voorbeelden van een warme zomer en koude wintersituatie. Voor koeling wordt berekend hoeveel vermogen door de bron wordt geleverd en hoeveel door de warmtepomp produceert. Ook wordt berekend hoeveel elektriciteit door de conventionele installatie wordt verbruikt, waarbij ook is gelet op het koudevermogen wat de drogekoeler kan leveren.

### *Koeling*

In tabel 31 wordt een voorbeeld van het model van de koudeberekening gegeven. Het model is in een aantal onderdelen opgesplitst. De berekeningen worden verricht aan de hand van de gegevens van het GKW-net.

### **Bepaling van vermogens en COP waarden**

Om te kunnen berekenen hoeveel elektriciteit wordt verbruikt is het nodig om de juiste COP waarden aan te geven van de warmtepomp en drogekoeler. De COP van de koelmachine staat in verband met de COP van de warmtepomp. Deze is exact één COP lager dan de warmtepomp, omdat het elektriciteitsverbruik niet meegerekend wordt.

De COP van de drogekoeler is gesteld op 20. Hierbij is uit gegaan dat de drogekoeler werkt met het in en uitschakelen van ventilatoren, waardoor het energieverbruik rechtevenredig verloopt ten opzichte van het koelvermogen. De COP van 20 is bepaald aan de hand van gegevens verkregen van Güntner.

De COP waarden voor de warmtepomp en koelmachine worden uit de ingegeven warmtepomp gehaald bij de juiste condensortemperatuur. De condensortemperatuur is bepaald door de gemiddelde aanvoertemperatuur van het CV-net te gebruiken. In het voorbeeld komt dit neer op 31,0°C waardoor gekozen is voor de COP waarden bij een condensortemperatuur van 30°C. Omdat de ingegeven waarden van de warmtepomp per 5°C gaan, is gekozen om vanaf 1°C de waarde naar boven af te ronden. Hierdoor ontstaat een 'worstcase' situatie en komt de WKO installatie niet positiever uit het model dan dat het werkelijk is.

De COP waarden worden vervolgens gemiddeld, omdat het systeem rekent tussen de bepaalde vermogens. Bij een vermogen van 118 kW tot 131 kW wordt de gemiddelde COP waarde van deze twee vermogens gebruikt.

Wanneer de deellast onder de 20% komt, wordt dezelfde COP waarde gebruikt als bij vollast, omdat het systeem de buffer op vollast zal laden. Bij meer dan 100% (wat niet mag voorkomen bij koeling, omdat de warmtepomp dan te klein is) wordt het maximale vermogen en de maximale COP waarde gebruikt.

De vermogens worden net als de COP waarden overgenomen uit de ingegeven waarden. Hier wordt verder geen berekening op toegepast. De vermogens die gebruikt worden zijn de vermogens verdamperzijdig.

### Uren per deellast vermogen

Om een beeld te vormen van het aantal uur dat een vermogen wordt gevraagd, is een berekening gemaakt die aan de hand van het vermogen van de warmtepomp het aantal uren bepaald. Er wordt berekend hoe lang de drogekoeler moet inschakelen en hoe lang de koelmachine moet inschakelen. Deze gegevens worden niet gebruikt, maar dienen alleen als overzicht.

### Berekenen van de conventionele situatie

Door de berekening van het aantal uren aan te passen, wordt berekend hoeveel vermogen er per warmtepompvermogen gevraagd wordt. Vervolgens worden deze waarden omgerekend met de COP waarden naar het elektrische verbruik. Hierbij is in acht genomen dat bij de geproduceerde koude er ook warmte geproduceerd wordt die door de drogekoeler moet worden afgevoerd.

### Berekenen van de WKO situatie

De berekening van de WKO situatie begint in tabel 31 onder het kopje "Bron situatie". Omdat in de WKO situatie koude wordt onttrokken uit de bron is de warmtepomp weinig in bedrijf. De bron werkt pas voor koudeproductie vanaf een buitentemperatuur van 17°C. De koudevraag onder deze temperatuur moet worden opgewekt door de warmtepomp. In het voorbeeld kan de bron in totaal 1548 uur in bedrijf zijn. Overall wordt dezelfde berekening toegepast als bij het bepalen van uren per deellast. Onderaan "Bron situatie" wordt een opsomming gegeven van de vermogens en het elektriciteitsverbruik van de installatie.

### Verwarming

Om de opgewekte warmte en koude te berekenen tijdens verwarmingsbedrijf is een soortgelijk model gemaakt als bij koeling. In tabel 32 staat een voorbeeld van een koude winter weergegeven.

Het model is op te delen in een berekening van warmtevermogen, door de warmtepomp en ketel, en het koudevermogen, dat ontstaat bij verwarming, door de warmtepomp. De berekeningen worden op dezelfde manier verricht als bij de koeling.

### Ketelvermogen

Het ketelvermogen is te bepalen door de warmtevraag over het hele jaar bij elkaar op te tellen.

### Warmtepompvermogen

Net als bij de koeling wordt het model opgesplitst in de verschillende deellasten. Hierbij worden de vermogens uit de ingegeven warmtepomp gehaald en ingevuld. Er wordt gebruik gemaakt van het condensorvermogen van de warmtepomp.

Omdat de warmtepomp onvoldoende vermogen kan hebben om aan de piek te voldoen, wordt eronder het ketelvermogen berekend dat benodigd is om wel aan de piekvraag te voldoen. In het voorbeeld van tabel 32 is te zien dat bij meer dan 100% vollast de ketel extra moet bijspringen.

De warmtepomp produceert tijdens warmtebedrijf ook koude. Deze koude wordt opgeslagen in de bron en wordt berekend aan de hand van de COP waarden.

Warme Zomer  
KOELING  
31.0 °C Gemiddelde CV Temperatuur

| Deelast     | < 20 %     | 20 - 30 %  | 30 - 40 %  | 40 - 50 %  | 50 - 60 %  | 60 - 70 %  | 70 - 80 %  | 80 - 90 %  | 90 - 100 % | > 100 %    |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aantal kW   | < 118 kW   | 118 kW     | 131 kW     | 182 kW     | 233 kW     | 268 kW     | 302 kW     | 359 kW     | 417 kW     | > 471 kW   |
| Totaal uur  | 1206 uur   | 68 uur     | 242 uur    | 144 uur    | 86 uur     | 86 uur     | 90 uur     | 94 uur     | 44 uur     | 84 uur     |
| Uren DK     | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      |
| Uren KM     | 1206 uur   | 68 uur     | 242 uur    | 144 uur    | 86 uur     | 86 uur     | 90 uur     | 94 uur     | 44 uur     | 84 uur     |
| Uren DK+KM) | 1206 uur   | 68 uur     | 242 uur    | 144 uur    | 86 uur     | 86 uur     | 90 uur     | 94 uur     | 44 uur     | 84 uur     |
| Pdk         | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      |
| Pkm conv.   | 56.781 kWh | 8.447 kWh  | 37.307 kWh | 29.246 kWh | 21.578 kWh | 24.383 kWh | 29.748 kWh | 36.401 kWh | 19.211 kWh | 45.414 kWh |
| COP DK      | 20         | 20         | 20         | 20         | 20         | 20         | 20         | 20         | 20         | 20         |
| COP KM      | 5.98       | 4.86       | 5.11       | 5.48       | 5.56       | 5.38       | 5.45       | 5.71       | 5.91       | 5.98       |
| COP WP      | 6.98       | 5.86       | 6.11       | 6.48       | 6.56       | 6.38       | 6.45       | 6.71       | 6.91       | 6.98       |
| Pwp         | 66.271 kWh | 10.186 kWh | 44.611 kWh | 34.583 kWh | 25.458 kWh | 28.913 kWh | 35.203 kWh | 42.772 kWh | 22.463 kWh | 53.004 kWh |
| Pdk + Pwp   | 66.271 kWh | 10.186 kWh | 44.611 kWh | 34.583 kWh | 25.458 kWh | 28.913 kWh | 35.203 kWh | 42.772 kWh | 22.463 kWh | 53.004 kWh |
| Pelek.conv. | 12.803 kWh | 2.249 kWh  | 9.534 kWh  | 7.066 kWh  | 5.152 kWh  | 5.976 kWh  | 7.215 kWh  | 8.509 kWh  | 4.375 kWh  | 10.240 kWh |
| Pelek. WP   | 9.490 kWh  | 1.739 kWh  | 7.304 kWh  | 5.337 kWh  | 3.879 kWh  | 4.531 kWh  | 5.455 kWh  | 6.370 kWh  | 3.252 kWh  | 7.590 kWh  |

|                      |            |           |            |            |            |            |            |            |            |       |
|----------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|
| <b>BRON Situatie</b> |            |           |            |            |            |            |            |            |            |       |
| Pkm < 17 °C          | 17.882 kW  | 726 kWh   | 546 kWh    | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh |
| Pwp < 17 °C          | 20.871 kW  | 876 kWh   | 653 kWh    | 0 kW       | 0 kW       | 0 kW       | 0 kW       | 0 kW       | 0 kW       | 0 kW  |
| Pelek. < 17 °C       | 2.989 kW   | 150 kW    | 107 kW     | 0 kW       | 0 kW       | 0 kW       | 0 kW       | 0 kW       | 0 kW       | 0 kW  |
| Uren Bron            | 1548 uur   |           |            |            |            |            |            |            |            |       |
| Pbron                | 38.899 kWh | 7.721 kWh | 36.761 kWh | 29.246 kWh | 21.578 kWh | 24.383 kWh | 29.748 kWh | 36.401 kWh | 19.211 kWh | 0 kWh |
| Pbron elek           | 6.501 kWh  | 1.590 kWh | 7.197 kWh  | 5.337 kWh  | 3.879 kWh  | 4.531 kWh  | 5.455 kWh  | 6.370 kWh  | 3.252 kWh  | 0 kWh |
| Uren > 550           | 24 uur     |           |            |            |            |            |            |            |            |       |
| Extra KM             | 20 uur     | 2 uur     | 2 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur      | 0 uur |
| Pkm                  | 14.907 kWh | 1.337 kWh | 1.446 kWh  | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh |
| Pwp                  | 17.398 kWh | 1.612 kWh | 1.729 kWh  | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh |
| Pelektrisch          | 2.491 kWh  | 275 kWh   | 283 kWh    | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh      | 0 kWh |

|               |             |
|---------------|-------------|
| Pbron (koude) | 289.337 kWh |
| Pbron (warme) | 314.786 kWh |
| Pkm           | 39.893 kWh  |
| Pelektrisch   | 6.295 kWh   |

Tabel 31:  
Voorbeeld  
rekenmodel  
koeling

45,3 °C Gemiddelde CV Temperatuur

Koude Winter  
VERWARMING

| Deellast    | < 20 %      | 20 - 30 %       | 30 - 40 %       | 40 - 50 %       | 50 - 60 %       | 60 - 70 %       | 70 - 80 %       | 80 - 90 %       | 90 - 100 %      | > 100%     |
|-------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| Aantal kW   | < 128 kW    | 128 kW - 135 kW | 135 kW - 197 kW | 197 kW - 251 kW | 251 kW - 280 kW | 280 kW - 312 kW | 312 kW - 377 kW | 377 kW - 448 kW | 448 kW - 518 kW | > 518 kW   |
| Totaal uur  | 258 uur     | 48              | 380             | 360             | 200             | 220             | 238             | 230             | 110             | 106        |
| Pwp         | 21.762 kWh  | 6.288 kWh       | 62.620 kWh      | 80.611 kWh      | 52.878 kWh      | 64.908 kWh      | 79.943 kWh      | 93.961 kWh      | 52.614 kWh      | 8.704 kWh  |
| Pketel      | -           | -               | -               | -               | -               | -               | -               | -               | -               | 54.946 kWh |
| COP WP      | 4,60        | 3,22            | 3,47            | 4,01            | 4,12            | 3,74            | 3,74            | 4,07            | 4,42            | 4,60       |
| Pelectrisch | 4.731 kWh   | 1.955 kWh       | 18.038 kWh      | 20.087 kWh      | 12.824 kWh      | 17.366 kWh      | 21.354 kWh      | 23.077 kWh      | 11.903 kWh      | 1.892 kWh  |
| COP KM      | 3,60        | 2,22            | 2,47            | 3,01            | 3,12            | 2,74            | 2,74            | 3,07            | 3,42            | 3,60       |
| Pkm         | 17.031 kWh  | 4.334 kWh       | 44.582 kWh      | 60.524 kWh      | 40.054 kWh      | 47.543 kWh      | 58.589 kWh      | 70.884 kWh      | 40.711 kWh      | 6.811 kWh  |
| Pketel      | 579.234 kWh |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |            |

Tabel 32: Voorbeeld rekenmodel verwarming

## Bijlage 17 Vermogensberekening drogekoeler

De drogekoeler is berekend door het gemiddelde van alle buitentemperaturen boven de 19°C te nemen.

De drogekoeler heeft een vermogen van 400 kW bij een  $\Delta T=8K$  tussen de  $T_{in}$  en  $T_{uit}$  van de koelvloeistof. Door de  $\Delta T$  aan te passen naar de gemiddelde buitentemperatuur, kan het vermogen bij de desbetreffende  $\Delta T$  berekend worden.

Bijvoorbeeld bij een  $\Delta T=8K$  heeft de drogekoeler een vermogen van 400 kW. Dit geeft 50 kW/K. Met een gemiddelde  $\Delta T=3K$  kan er een vermogen worden ingevangen van 150 kWh.

De resultaten van deze berekening zijn in de tabel 33 weergegeven.

| <b>Koud jaar</b><br>202 MWh                  | <b>Normaal jaar</b><br>333 MWh                 | <b>Warm jaar</b><br>537 MWh                  |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>koude winter koude zomer</b><br>243 MWh   | <b>normale winter koude zomer</b><br>243 MWh   | <b>warme winter koude zomer</b><br>243 MWh   |
| <b>koude winter normale zomer</b><br>333 MWh | <b>normale winter normale zomer</b><br>333 MWh | <b>warme winter normale zomer</b><br>333 MWh |
| <b>koude winter warme zomer</b><br>465 MWh   | <b>normale winter warme zomer</b><br>465 MWh   | <b>warme winter warme zomer</b><br>465 MWh   |

Tabel 33: Vermogens drogekoeler 400 kW

Het elektrisch vermogen ( $P_{\text{elektrisch}}$ ) is te berekenen door de ingevangen warmte te delen door de COP waarde van de drogekoeler.



## Bijlage 18 Financiële besparing per warmtepompvermogen

| Koud Jaar              | 200 kW    | Normaal Jaar                     | 200 kW   | Warm Jaar            | 200 kW   |
|------------------------|-----------|----------------------------------|----------|----------------------|----------|
| WKO                    | € 49.037  | WKO                              | € 32.541 | WKO                  | € 23.581 |
| Onderhoud WKO          | € 10.451  | Onderhoud WKO                    | € 10.451 | Onderhoud WKO        | € 10.451 |
| Conventioneel          | € 74.878  | Conventioneel                    | € 62.424 | Conventioneel        | € 50.953 |
| Onderhoud Conv.        | € 4.636   | Onderhoud Conv.                  | € 4.636  | Onderhoud Conv.      | € 4.636  |
| Besparing              | € 20.026  | Besparing                        | € 24.067 | Besparing            | € 21.557 |
| Investeringskosten WKO |           | Investeringskosten Conventioneel |          | Investeringsverschil |          |
| CV Ketel 2x400 kW      | € 25.600  | CV Ketel 2x500 kW                | € 30.000 | € 201.565            |          |
| Warmtepomp 200 kW      | € 34.200  | Koelmachine 750 kW               | € 60.000 |                      |          |
| Drogekoeler 200 kW     | € 18.635  | Droge koeler 850 kW              | € 28.900 |                      |          |
| TSA 200 kW (ΔT 1)      | € 5.130   | TSA 850 kW (ΔT 5)                | € 3.100  |                      |          |
| Bronssysteem 550 kW    | € 240.000 |                                  |          |                      |          |

| Koud Jaar              | 300 kW    | Normaal Jaar                     | 300 kW   | Warm Jaar            | 300 kW   |
|------------------------|-----------|----------------------------------|----------|----------------------|----------|
| WKO                    | € 47.664  | WKO                              | € 29.940 | WKO                  | € 19.557 |
| Onderhoud WKO          | € 9.201   | Onderhoud WKO                    | € 9.201  | Onderhoud WKO        | € 9.201  |
| Conventioneel          | € 75.156  | Conventioneel                    | € 62.628 | Conventioneel        | € 51.272 |
| Onderhoud Conv.        | € 4.636   | Onderhoud Conv.                  | € 4.636  | Onderhoud Conv.      | € 4.636  |
| Besparing              | € 22.927  | Besparing                        | € 28.122 | Besparing            | € 27.150 |
| Investeringskosten WKO |           | Investeringskosten Conventioneel |          | Investeringsverschil |          |
| CV Ketel 2x350 kW      | € 23.100  | CV Ketel 2x500 kW                | € 30.000 | € 162.873            |          |
| Warmtepomp 300 kW      | € 32.125  | Koelmachine 750 kW               | € 60.000 |                      |          |
| Drogekoeler 300 kW     | € 27.953  | Droge koeler 850 kW              | € 28.900 |                      |          |
| TSA 300 kW (ΔT 1)      | € 7.695   | TSA 850 kW (ΔT 5)                | € 3.100  |                      |          |
| Bronsvsteeem 450 kW    | € 194.000 |                                  |          |                      |          |

| Koud Jaar              | 400 kW    | Normaal Jaar                     | 400 kW   | Warm Jaar            | 400 kW   |
|------------------------|-----------|----------------------------------|----------|----------------------|----------|
| WKO                    | € 46.329  | WKO                              | € 26.946 | WKO                  | € 16.847 |
| Onderhoud WKO          | € 8.987   | Onderhoud WKO                    | € 8.987  | Onderhoud WKO        | € 8.987  |
| Conventioneel          | € 75.162  | Conventioneel                    | € 62.864 | Conventioneel        | € 51.447 |
| Onderhoud Conv.        | € 4.636   | Onderhoud Conv.                  | € 4.636  | Onderhoud Conv.      | € 4.636  |
| Besparing              | € 24.482  | Besparing                        | € 31.566 | Besparing            | € 30.249 |
| Investeringskosten WKO |           | Investeringskosten Conventioneel |          | Investeringsverschil |          |
| CV Ketel 2x300 kW      | € 20.400  | CV Ketel 2x500 kW                | € 30.000 | € 156.235            |          |
| Warmtepomp 400 kW      | € 38.304  | Koelmachine 750 kW               | € 60.000 |                      |          |
| Drogekoeler 400 kW     | € 37.271  | Droge koeler 850 kW              | € 28.900 |                      |          |
| TSA 400 kW (ΔT 1)      | € 10.260  | TSA 850 kW (ΔT 5)                | € 3.100  |                      |          |
| Bronssysteem 400 kW    | € 172.000 |                                  |          |                      |          |

| Koud Jaar              | 500 kW    | Normaal Jaar                     | 500 kW   | Warm Jaar            | 500 kW   |
|------------------------|-----------|----------------------------------|----------|----------------------|----------|
| WKO                    | € 44.805  | WKO                              | € 24.703 | WKO                  | € 16.007 |
| Onderhoud WKO          | € 10.924  | Onderhoud WKO                    | € 10.924 | Onderhoud WKO        | € 10.924 |
| Conventioneel          | € 74.993  | Conventioneel                    | € 62.713 | Conventioneel        | € 51.403 |
| Onderhoud Conv.        | € 4.636   | Onderhoud Conv.                  | € 4.636  | Onderhoud Conv.      | € 4.636  |
| Besparing              | € 23.899  | Besparing                        | € 31.722 | Besparing            | € 29.107 |
| Investeringskosten WKO |           | Investeringskosten Conventioneel |          | Investeringsverschil |          |
| CV Ketel 2x250 kW      | € 21.000  | CV Ketel 2x500 kW                | € 30.000 | € 216.213            |          |
| Warmtepomp 500 kW      | € 42.800  | Koelmachine 750 kW               | € 60.000 |                      |          |
| Drogekoeler 500 kW     | € 46.588  | Droge koeler 850 kW              | € 28.900 |                      |          |
| TSA 500 kW (ΔT 1)      | € 12.825  | TSA 850 kW (ΔT 5)                | € 3.100  |                      |          |
| Bronsvsteem 500 kW     | € 215.000 |                                  |          |                      |          |

| Koud Jaar                     | 600 kW    | Normaal Jaar                            | 600 kW   | Warm Jaar                   | 600 kW   |
|-------------------------------|-----------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| WKO                           | € 43.179  | WKO                                     | € 24.025 | WKO                         | € 15.729 |
| Onderhoud WKO                 | € 12.666  | Onderhoud WKO                           | € 12.666 | Onderhoud WKO               | € 12.666 |
| Conventioneel                 | € 74.959  | Conventioneel                           | € 62.608 | Conventioneel               | € 51.378 |
| Onderhoud Conv.               | € 4.636   | Onderhoud Conv.                         | € 4.636  | Onderhoud Conv.             | € 4.636  |
| Besparing                     | € 23.751  | Besparing                               | € 30.553 | Besparing                   | € 27.620 |
| <b>Investeringskosten WKO</b> |           | <b>Investeringskosten Conventioneel</b> |          | <b>Investeringsverschil</b> |          |
| CV Ketel 2x200 kW             | € 14.000  | CV Ketel 2x500 kW                       | € 30.000 | € 270.126                   |          |
| Warmtepomp 600 kW             | € 48.830  | Koelmachine 750 kW                      | € 60.000 |                             |          |
| Drogekoeler 600 kW            | € 55.906  | Droge koeler 850 kW                     | € 28.900 |                             |          |
| TSA 600 kW (ΔT 1)             | € 15.390  | TSA 850 kW (ΔT 5)                       | € 3.100  |                             |          |
| Bronssysteem 600 kW           | € 258.000 |                                         |          |                             |          |

| Koud Jaar                     | 700 kW    | Normaal Jaar                            | 700 kW   | Warm Jaar                   | 700 kW   |
|-------------------------------|-----------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| WKO                           | € 41.642  | WKO                                     | € 23.553 | WKO                         | € 15.637 |
| Onderhoud WKO                 | € 14.599  | Onderhoud WKO                           | € 14.599 | Onderhoud WKO               | € 14.599 |
| Conventioneel                 | € 74.935  | Conventioneel                           | € 62.582 | Conventioneel               | € 51.368 |
| Onderhoud Conv.               | € 4.636   | Onderhoud Conv.                         | € 4.636  | Onderhoud Conv.             | € 4.636  |
| Besparing                     | € 23.331  | Besparing                               | € 29.065 | Besparing                   | € 25.768 |
| <b>Investeringskosten WKO</b> |           | <b>Investeringskosten Conventioneel</b> |          | <b>Investeringsverschil</b> |          |
| CV Ketel 2x150 kW             | € 10.800  | CV Ketel 2x500 kW                       | € 30.000 | € 329.979                   |          |
| Warmtepomp 700 kW             | € 57.000  | Koelmachine 750 kW                      | € 60.000 |                             |          |
| Drogekoeler 700 kW            | € 65.224  | Droge koeler 850 kW                     | € 28.900 |                             |          |
| TSA 700 kW (ΔT 1)             | € 17.955  | TSA 850 kW (ΔT 5)                       | € 3.100  |                             |          |
| Bronssysteem 700 kW           | € 301.000 |                                         |          |                             |          |

| Koud Jaar                     | 800 kW    | Normaal Jaar                            | 800 kW   | Warm Jaar                   | 800 kW   |
|-------------------------------|-----------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| WKO                           | € 40.066  | WKO                                     | € 23.449 | WKO                         | € 15.475 |
| Onderhoud WKO                 | € 16.444  | Onderhoud WKO                           | € 16.444 | Onderhoud WKO               | € 16.444 |
| Conventioneel                 | € 74.891  | Conventioneel                           | € 62.536 | Conventioneel               | € 51.339 |
| Onderhoud Conv.               | € 4.636   | Onderhoud Conv.                         | € 4.636  | Onderhoud Conv.             | € 4.636  |
| Besparing                     | € 23.017  | Besparing                               | € 27.279 | Besparing                   | € 24.056 |
| <b>Investeringskosten WKO</b> |           | <b>Investeringskosten Conventioneel</b> |          | <b>Investeringsverschil</b> |          |
| CV Ketel 2x100 kW             | € 7.400   | CV Ketel 2x500 kW                       | € 30.000 | € 387.111                   |          |
| Warmtepomp 800 kW             | € 61.650  | Koelmachine 750 kW                      | € 60.000 |                             |          |
| Drogekoeler 800 kW            | € 74.541  | Droge koeler 850 kW                     | € 28.900 |                             |          |
| TSA 800 kW (ΔT 1)             | € 20.520  | TSA 850 kW (ΔT 5)                       | € 3.100  |                             |          |
| Bronssysteem 800 kW           | € 345.000 |                                         |          |                             |          |

| Koud Jaar                     | 900 kW    | Normaal Jaar                            | 900 kW   | Warm Jaar                   | 900 kW   |
|-------------------------------|-----------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| WKO                           | € 39.262  | WKO                                     | € 23.332 | WKO                         | € 15.283 |
| Onderhoud WKO                 | € 18.031  | Onderhoud WKO                           | € 18.031 | Onderhoud WKO               | € 18.031 |
| Conventioneel                 | € 74.778  | Conventioneel                           | € 62.506 | Conventioneel               | € 51.249 |
| Onderhoud Conv.               | € 4.636   | Onderhoud Conv.                         | € 4.636  | Onderhoud Conv.             | € 4.636  |
| Besparing                     | € 22.120  | Besparing                               | € 25.779 | Besparing                   | € 22.571 |
| <b>Investeringskosten WKO</b> |           | <b>Investeringskosten Conventioneel</b> |          | <b>Investeringsverschil</b> |          |
| CV Ketel 100 kW               | € 3.700   | CV Ketel 2x500 kW                       | € 30.000 | € 436.238                   |          |
| Warmtepomp 900 kW             | € 65.535  | Koelmachine 750 kW                      | € 60.000 |                             |          |
| Drogekoeler 850 kW            | € 79.200  | Droge koeler 850 kW                     | € 28.900 |                             |          |
| TSA 850 kW (ΔT 1)             | € 21.803  | TSA 850 kW (ΔT 5)                       | € 3.100  |                             |          |
| Bronssysteem 900 kW           | € 388.000 |                                         |          |                             |          |

| Koud Jaar                     | 1000 kW   | Normaal Jaar                            | 1000 kW  | Warm Jaar                   | 1000 kW  |
|-------------------------------|-----------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| WKO                           | € 39.181  | WKO                                     | € 23.206 | WKO                         | € 14.980 |
| Onderhoud WKO                 | € 19.301  | Onderhoud WKO                           | € 19.301 | Onderhoud WKO               | € 19.301 |
| Conventioneel                 | € 74.695  | Conventioneel                           | € 62.439 | Conventioneel               | € 51.149 |
| Onderhoud Conv.               | € 4.636   | Onderhoud Conv.                         | € 4.636  | Onderhoud Conv.             | € 4.636  |
| Besparing                     | € 20.849  | Besparing                               | € 24.567 | Besparing                   | € 21.504 |
| <b>Investeringskosten WKO</b> |           | <b>Investeringskosten Conventioneel</b> |          | <b>Investeringsverschil</b> |          |
| CV Ketel -                    |           | CV Ketel 2x500 kW                       | € 30.000 | € 475.563                   |          |
| Warmtepomp 1000 kW            | € 68.560  | Koelmachine 750 kW                      | € 60.000 |                             |          |
| Drogekoeler 850 kW            | € 79.200  | Droge koeler 850 kW                     | € 28.900 |                             |          |
| TSA 850 kW (ΔT 1)             | € 21.803  | TSA 850 kW (ΔT 5)                       | € 3.100  |                             |          |
| Bronssysteem 1000 kW          | € 428.000 |                                         |          |                             |          |

## Bijlage 19 CO<sub>2</sub> reductie per warmtepompvermogen

| Koud Jaar        | 200 kW            | Normaal Jaar     | 200 kW            | Warm Jaar        | 200 kW            |
|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| WKO              |                   | WKO              |                   | WKO              |                   |
| Gas              | 148.428 kg        | Gas              | 80.666 kg         | Gas              | 52.787 kg         |
| Elektra          | 86.871 kg         | Elektra          | 89.764 kg         | Elektra          | 75.254 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>235.299 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>170.430 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>128.041 kg</b> |
| Conventioneel    |                   | Conventioneel    |                   | Conventioneel    |                   |
| Gas              | 263.934 kg        | Gas              | 205.458 kg        | Gas              | 149.702 kg        |
| Elektra          | 65.578 kg         | Elektra          | 81.656 kg         | Elektra          | 101.204 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>329.511 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>287.114 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>250.906 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>94.213 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>116.685 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>122.864 kg</b> |

| Koud Jaar        | 300 kW            | Normaal Jaar     | 300 kW            | Warm Jaar        | 300 kW            |
|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| WKO              |                   | WKO              |                   | WKO              |                   |
| Gas              | 134.222 kg        | Gas              | 56.417 kg         | Gas              | 26.332 kg         |
| Elektra          | 102.536 kg        | Elektra          | 114.649 kg        | Elektra          | 93.839 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>236.758 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>171.066 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>120.171 kg</b> |
| Conventioneel    |                   | Conventioneel    |                   | Conventioneel    |                   |
| Gas              | 263.934 kg        | Gas              | 205.458 kg        | Gas              | 149.702 kg        |
| Elektra          | 65.578 kg         | Elektra          | 81.656 kg         | Elektra          | 101.204 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>329.511 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>287.114 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>250.906 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>92.753 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>116.048 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>130.735 kg</b> |

| Koud Jaar        | 400 kW            | Normaal Jaar     | 400 kW            | Warm Jaar        | 400 kW            |
|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| WKO              |                   | WKO              |                   | WKO              |                   |
| Gas              | 119.833 kg        | Gas              | 30.039 kg         | Gas              | 7.925 kg          |
| Elektra          | 118.812 kg        | Elektra          | 140.538 kg        | Elektra          | 107.418 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>238.645 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>170.577 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>115.343 kg</b> |
| Conventioneel    |                   | Conventioneel    |                   | Conventioneel    |                   |
| Gas              | 263.934 kg        | Gas              | 205.458 kg        | Gas              | 149.702 kg        |
| Elektra          | 65.578 kg         | Elektra          | 81.656 kg         | Elektra          | 101.204 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>329.511 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>287.114 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>250.906 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>90.866 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>116.537 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>135.563 kg</b> |

| Koud Jaar        | 500 kW            | Normaal Jaar     | 500 kW            | Warm Jaar        | 500 kW            |
|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| WKO              |                   | WKO              |                   | WKO              |                   |
| Gas              | 106.335 kg        | Gas              | 10.711 kg         | Gas              | 2.049 kg          |
| Elektra          | 132.118 kg        | Elektra          | 159.144 kg        | Elektra          | 111.936 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>238.453 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>169.855 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>113.986 kg</b> |
| Conventioneel    |                   | Conventioneel    |                   | Conventioneel    |                   |
| Gas              | 263.934 kg        | Gas              | 205.458 kg        | Gas              | 149.702 kg        |
| Elektra          | 65.578 kg         | Elektra          | 81.656 kg         | Elektra          | 101.204 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>329.511 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>287.114 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>250.906 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>91.058 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>117.260 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>136.920 kg</b> |

|                  |                   |                     |                   |                  |                   |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>600 kW</b>     | <b>Normaal Jaar</b> | <b>600 kW</b>     | <b>Warm Jaar</b> | <b>600 kW</b>     |
| WKO              |                   | WKO                 |                   | WKO              |                   |
| Gas              | 93.323 kg         | Gas                 | 4.291 kg          | Gas              | kg                |
| Elektra          | 143.804 kg        | Elektra             | 165.813 kg        | Elektra          | 113.614 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>237.127 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>170.104 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>113.614 kg</b> |
| Conventioneel    |                   | Conventioneel       |                   | Conventioneel    |                   |
| Gas              | 263.934 kg        | Gas                 | 205.458 kg        | Gas              | 149.702 kg        |
| Elektra          | 65.578 kg         | Elektra             | 81.656 kg         | Elektra          | 101.204 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>329.511 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>287.114 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>250.906 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>92.384 kg</b>  | <b>Besparing</b>    | <b>117.010 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>137.291 kg</b> |

|                  |                   |                     |                   |                  |                   |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>700 kW</b>     | <b>Normaal Jaar</b> | <b>700 kW</b>     | <b>Warm Jaar</b> | <b>700 kW</b>     |
| WKO              |                   | WKO                 |                   | WKO              |                   |
| Gas              | 79.888 kg         | Gas                 | 794 kg            | Gas              | kg                |
| Elektra          | 156.902 kg        | Elektra             | 168.705 kg        | Elektra          | 112.954 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>236.790 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>169.499 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>112.954 kg</b> |
| Conventioneel    |                   | Conventioneel       |                   | Conventioneel    |                   |
| Gas              | 263.934 kg        | Gas                 | 205.458 kg        | Gas              | 149.702 kg        |
| Elektra          | 65.578 kg         | Elektra             | 81.656 kg         | Elektra          | 101.204 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>329.511 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>287.114 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>250.906 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>92.721 kg</b>  | <b>Besparing</b>    | <b>117.615 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>137.952 kg</b> |

|                  |                   |                     |                   |                  |                   |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>800 kW</b>     | <b>Normaal Jaar</b> | <b>800 kW</b>     | <b>Warm Jaar</b> | <b>800 kW</b>     |
| WKO              |                   | WKO                 |                   | WKO              |                   |
| Gas              | 66.636 kg         | Gas                 | kg                | Gas              | kg                |
| Elektra          | 169.388 kg        | Elektra             | 169.383 kg        | Elektra          | 111.785 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>236.024 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>169.383 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>111.785 kg</b> |
| Conventioneel    |                   | Conventioneel       |                   | Conventioneel    |                   |
| Gas              | 263.934 kg        | Gas                 | 205.458 kg        | Gas              | 149.702 kg        |
| Elektra          | 65.578 kg         | Elektra             | 81.656 kg         | Elektra          | 101.204 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>329.511 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>287.114 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>250.906 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>93.487 kg</b>  | <b>Besparing</b>    | <b>117.731 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>139.121 kg</b> |

|                  |                   |                     |                   |                  |                   |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>900 kW</b>     | <b>Normaal Jaar</b> | <b>900 kW</b>     | <b>Warm Jaar</b> | <b>900 kW</b>     |
| WKO              |                   | WKO                 |                   | WKO              |                   |
| Gas              | 60.083 kg         | Gas                 | kg                | Gas              | kg                |
| Elektra          | 175.387 kg        | Elektra             | 168.539 kg        | Elektra          | 110.394 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>235.470 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>168.539 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>110.394 kg</b> |
| Conventioneel    |                   | Conventioneel       |                   | Conventioneel    |                   |
| Gas              | 263.934 kg        | Gas                 | 205.458 kg        | Gas              | 149.702 kg        |
| Elektra          | 65.578 kg         | Elektra             | 81.656 kg         | Elektra          | 101.204 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>329.511 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>287.114 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>250.906 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>94.041 kg</b>  | <b>Besparing</b>    | <b>118.575 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>140.512 kg</b> |

|                  |                   |                     |                   |                  |                   |
|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>1000 kW</b>    | <b>Normaal Jaar</b> | <b>1000 kW</b>    | <b>Warm Jaar</b> | <b>1000 kW</b>    |
| WKO              |                   | WKO                 |                   | WKO              |                   |
| Gas              | 60.467 kg         | Gas                 | kg                | Gas              | kg                |
| Elektra          | 174.109 kg        | Elektra             | 167.627 kg        | Elektra          | 108.203 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>234.576 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>167.627 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>108.203 kg</b> |
| Conventioneel    |                   | Conventioneel       |                   | Conventioneel    |                   |
| Gas              | 263.934 kg        | Gas                 | 205.458 kg        | Gas              | 149.702 kg        |
| Elektra          | 65.578 kg         | Elektra             | 81.656 kg         | Elektra          | 101.204 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>329.511 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>287.114 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>250.906 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>94.936 kg</b>  | <b>Besparing</b>    | <b>119.488 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>142.703 kg</b> |

## Bijlage 20 NO<sub>x</sub> reductie per warmtepompvermogen

| Koud Jaar        | 200 kW        | Normaal Jaar     | 200 kW        | Warm Jaar        | 200 kW        |
|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| WKO              |               | WKO              |               | WKO              |               |
| Gas              | 114 kg        | Gas              | 62 kg         | Gas              | 41 kg         |
| Elektra          | 217 kg        | Elektra          | 97 kg         | Elektra          | 82 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>332 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>159 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>122 kg</b> |
| Conventioneel    |               | Conventioneel    |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 203 kg        | Gas              | 158 kg        | Gas              | 115 kg        |
| Elektra          | 254 kg        | Elektra          | 319 kg        | Elektra          | 430 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>457 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>477 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>545 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>126 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>317 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>423 kg</b> |

| Koud Jaar        | 300 kW        | Normaal Jaar     | 300 kW        | Warm Jaar        | 300 kW        |
|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| WKO              |               | WKO              |               | WKO              |               |
| Gas              | 103 kg        | Gas              | 43 kg         | Gas              | 20 kg         |
| Elektra          | 247 kg        | Elektra          | 124 kg        | Elektra          | 102 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>351 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>168 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>122 kg</b> |
| Conventioneel    |               | Conventioneel    |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 203 kg        | Gas              | 158 kg        | Gas              | 115 kg        |
| Elektra          | 254 kg        | Elektra          | 319 kg        | Elektra          | 430 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>457 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>477 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>545 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>107 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>309 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>423 kg</b> |

| Koud Jaar        | 400 kW        | Normaal Jaar     | 400 kW        | Warm Jaar        | 400 kW        |
|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| WKO              |               | WKO              |               | WKO              |               |
| Gas              | 92 kg         | Gas              | 23 kg         | Gas              | 6 kg          |
| Elektra          | 290 kg        | Elektra          | 152 kg        | Elektra          | 116 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>382 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>175 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>123 kg</b> |
| Conventioneel    |               | Conventioneel    |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 203 kg        | Gas              | 158 kg        | Gas              | 115 kg        |
| Elektra          | 254 kg        | Elektra          | 319 kg        | Elektra          | 430 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>457 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>477 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>545 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>75 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>301 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>423 kg</b> |

| Koud Jaar        | 500 kW        | Normaal Jaar     | 500 kW        | Warm Jaar        | 500 kW        |
|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| WKO              |               | WKO              |               | WKO              |               |
| Gas              | 82 kg         | Gas              | 8 kg          | Gas              | 2 kg          |
| Elektra          | 326 kg        | Elektra          | 173 kg        | Elektra          | 121 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>408 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>181 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>123 kg</b> |
| Conventioneel    |               | Conventioneel    |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 203 kg        | Gas              | 158 kg        | Gas              | 115 kg        |
| Elektra          | 254 kg        | Elektra          | 319 kg        | Elektra          | 430 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>457 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>477 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>545 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>49 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>296 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>422 kg</b> |

|                  |               |                     |               |                  |               |
|------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>600 kW</b> | <b>Normaal Jaar</b> | <b>600 kW</b> | <b>Warm Jaar</b> | <b>600 kW</b> |
| WKO              |               | WKO                 |               | WKO              |               |
| Gas              | 72 kg         | Gas                 | 3 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 355 kg        | Elektra             | 180 kg        | Elektra          | 123 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>427 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>183 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>123 kg</b> |
| Conventioneel    |               | Conventioneel       |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 203 kg        | Gas                 | 158 kg        | Gas              | 115 kg        |
| Elektra          | 254 kg        | Elektra             | 319 kg        | Elektra          | 430 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>457 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>477 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>545 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>31 kg</b>  | <b>Besparing</b>    | <b>294 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>422 kg</b> |

|                  |               |                     |               |                  |               |
|------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>700 kW</b> | <b>Normaal Jaar</b> | <b>700 kW</b> | <b>Warm Jaar</b> | <b>700 kW</b> |
| WKO              |               | WKO                 |               | WKO              |               |
| Gas              | 61 kg         | Gas                 | 1 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 377 kg        | Elektra             | 183 kg        | Elektra          | 122 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>439 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>184 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>122 kg</b> |
| Conventioneel    |               | Conventioneel       |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 203 kg        | Gas                 | 158 kg        | Gas              | 115 kg        |
| Elektra          | 254 kg        | Elektra             | 319 kg        | Elektra          | 430 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>457 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>477 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>545 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>19 kg</b>  | <b>Besparing</b>    | <b>293 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>423 kg</b> |

|                  |               |                     |               |                  |               |
|------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>800 kW</b> | <b>Normaal Jaar</b> | <b>800 kW</b> | <b>Warm Jaar</b> | <b>800 kW</b> |
| WKO              |               | WKO                 |               | WKO              |               |
| Gas              | 51 kg         | Gas                 | 0 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 394 kg        | Elektra             | 184 kg        | Elektra          | 121 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>445 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>184 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>121 kg</b> |
| Conventioneel    |               | Conventioneel       |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 203 kg        | Gas                 | 158 kg        | Gas              | 115 kg        |
| Elektra          | 254 kg        | Elektra             | 319 kg        | Elektra          | 430 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>457 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>477 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>545 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>13 kg</b>  | <b>Besparing</b>    | <b>293 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>424 kg</b> |

|                  |               |                     |               |                  |               |
|------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>900 kW</b> | <b>Normaal Jaar</b> | <b>900 kW</b> | <b>Warm Jaar</b> | <b>900 kW</b> |
| WKO              |               | WKO                 |               | WKO              |               |
| Gas              | 46 kg         | Gas                 | 0 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 400 kg        | Elektra             | 183 kg        | Elektra          | 120 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>446 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>183 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>120 kg</b> |
| Conventioneel    |               | Conventioneel       |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 203 kg        | Gas                 | 158 kg        | Gas              | 115 kg        |
| Elektra          | 254 kg        | Elektra             | 319 kg        | Elektra          | 430 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>457 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>477 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>545 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>11 kg</b>  | <b>Besparing</b>    | <b>294 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>426 kg</b> |

|                  |                |                     |                |                  |                |
|------------------|----------------|---------------------|----------------|------------------|----------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>1000 kW</b> | <b>Normaal Jaar</b> | <b>1000 kW</b> | <b>Warm Jaar</b> | <b>1000 kW</b> |
| WKO              |                | WKO                 |                | WKO              |                |
| Gas              | 46 kg          | Gas                 | 0 kg           | Gas              | 0 kg           |
| Elektra          | 398 kg         | Elektra             | 182 kg         | Elektra          | 117 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>444 kg</b>  | <b>Totaal</b>       | <b>182 kg</b>  | <b>Totaal</b>    | <b>117 kg</b>  |
| Conventioneel    |                | Conventioneel       |                | Conventioneel    |                |
| Gas              | 203 kg         | Gas                 | 158 kg         | Gas              | 115 kg         |
| Elektra          | 254 kg         | Elektra             | 319 kg         | Elektra          | 430 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>457 kg</b>  | <b>Totaal</b>       | <b>477 kg</b>  | <b>Totaal</b>    | <b>545 kg</b>  |
| <b>Besparing</b> | <b>13 kg</b>   | <b>Besparing</b>    | <b>295 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>428 kg</b>  |

## Bijlage 21 SO<sub>2</sub> reductie per warmtepompvermogen

| Koud Jaar        | 200 kW        | Normaal Jaar     | 200 kW        | Warm Jaar        | 200 kW        |
|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| WKO              |               | WKO              |               | WKO              |               |
| Gas              | 1 kg          | Gas              | 1 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 129 kg        | Elektra          | 58 kg         | Elektra          | 49 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>131 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>59 kg</b>  | <b>Totaal</b>    | <b>49 kg</b>  |
| Conventioneel    |               | Conventioneel    |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 2 kg          | Gas              | 2 kg          | Gas              | 1 kg          |
| Elektra          | 151 kg        | Elektra          | 190 kg        | Elektra          | 256 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>154 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>192 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>257 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>23 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>133 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>208 kg</b> |

| Koud Jaar        | 300 kW        | Normaal Jaar     | 300 kW        | Warm Jaar        | 300 kW        |
|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| WKO              |               | WKO              |               | WKO              |               |
| Gas              | 1 kg          | Gas              | 1 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 147 kg        | Elektra          | 74 kg         | Elektra          | 61 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>148 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>74 kg</b>  | <b>Totaal</b>    | <b>61 kg</b>  |
| Conventioneel    |               | Conventioneel    |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 2 kg          | Gas              | 2 kg          | Gas              | 1 kg          |
| Elektra          | 151 kg        | Elektra          | 190 kg        | Elektra          | 256 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>154 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>192 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>257 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>5 kg</b>   | <b>Besparing</b> | <b>117 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>197 kg</b> |

| Koud Jaar        | 400 kW        | Normaal Jaar     | 400 kW        | Warm Jaar        | 400 kW        |
|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| WKO              |               | WKO              |               | WKO              |               |
| Gas              | 1 kg          | Gas              | 0 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 172 kg        | Elektra          | 91 kg         | Elektra          | 69 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>174 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>91 kg</b>  | <b>Totaal</b>    | <b>69 kg</b>  |
| Conventioneel    |               | Conventioneel    |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 2 kg          | Gas              | 2 kg          | Gas              | 1 kg          |
| Elektra          | 151 kg        | Elektra          | 190 kg        | Elektra          | 256 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>154 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>192 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>257 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>-20 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>101 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>188 kg</b> |

| Koud Jaar        | 500 kW        | Normaal Jaar     | 500 kW        | Warm Jaar        | 500 kW        |
|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| WKO              |               | WKO              |               | WKO              |               |
| Gas              | 1 kg          | Gas              | 0 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 194 kg        | Elektra          | 103 kg        | Elektra          | 72 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>195 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>103 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>72 kg</b>  |
| Conventioneel    |               | Conventioneel    |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 2 kg          | Gas              | 2 kg          | Gas              | 1 kg          |
| Elektra          | 151 kg        | Elektra          | 190 kg        | Elektra          | 256 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>154 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>192 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>257 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>-41 kg</b> | <b>Besparing</b> | <b>89 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>185 kg</b> |

\* Een negatieve besparing is een toename van uitstoot.

|                  |               |                     |               |                  |               |
|------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>600 kW</b> | <b>Normaal Jaar</b> | <b>600 kW</b> | <b>Warm Jaar</b> | <b>600 kW</b> |
| WKO              |               | WKO                 |               | WKO              |               |
| Gas              | 1 kg          | Gas                 | 0 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 211 kg        | Elektra             | 107 kg        | Elektra          | 73 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>212 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>107 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>73 kg</b>  |
| Conventioneel    |               | Conventioneel       |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 2 kg          | Gas                 | 2 kg          | Gas              | 1 kg          |
| Elektra          | 151 kg        | Elektra             | 190 kg        | Elektra          | 256 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>154 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>192 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>257 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>-58 kg</b> | <b>Besparing</b>    | <b>85 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>184 kg</b> |

|                  |               |                     |               |                  |               |
|------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>700 kW</b> | <b>Normaal Jaar</b> | <b>700 kW</b> | <b>Warm Jaar</b> | <b>700 kW</b> |
| WKO              |               | WKO                 |               | WKO              |               |
| Gas              | 1 kg          | Gas                 | 0 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 224 kg        | Elektra             | 109 kg        | Elektra          | 73 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>225 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>109 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>73 kg</b>  |
| Conventioneel    |               | Conventioneel       |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 2 kg          | Gas                 | 2 kg          | Gas              | 1 kg          |
| Elektra          | 151 kg        | Elektra             | 190 kg        | Elektra          | 256 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>154 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>192 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>257 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>-71 kg</b> | <b>Besparing</b>    | <b>83 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>185 kg</b> |

|                  |               |                     |               |                  |               |
|------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>800 kW</b> | <b>Normaal Jaar</b> | <b>800 kW</b> | <b>Warm Jaar</b> | <b>800 kW</b> |
| WKO              |               | WKO                 |               | WKO              |               |
| Gas              | 1 kg          | Gas                 | 0 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 234 kg        | Elektra             | 109 kg        | Elektra          | 72 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>235 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>109 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>72 kg</b>  |
| Conventioneel    |               | Conventioneel       |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 2 kg          | Gas                 | 2 kg          | Gas              | 1 kg          |
| Elektra          | 151 kg        | Elektra             | 190 kg        | Elektra          | 256 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>154 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>192 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>257 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>-81 kg</b> | <b>Besparing</b>    | <b>82 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>185 kg</b> |

|                  |               |                     |               |                  |               |
|------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------|---------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>900 kW</b> | <b>Normaal Jaar</b> | <b>900 kW</b> | <b>Warm Jaar</b> | <b>900 kW</b> |
| WKO              |               | WKO                 |               | WKO              |               |
| Gas              | 1 kg          | Gas                 | 0 kg          | Gas              | 0 kg          |
| Elektra          | 238 kg        | Elektra             | 109 kg        | Elektra          | 71 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>239 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>109 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>71 kg</b>  |
| Conventioneel    |               | Conventioneel       |               | Conventioneel    |               |
| Gas              | 2 kg          | Gas                 | 2 kg          | Gas              | 1 kg          |
| Elektra          | 151 kg        | Elektra             | 190 kg        | Elektra          | 256 kg        |
| <b>Totaal</b>    | <b>154 kg</b> | <b>Totaal</b>       | <b>192 kg</b> | <b>Totaal</b>    | <b>257 kg</b> |
| <b>Besparing</b> | <b>-85 kg</b> | <b>Besparing</b>    | <b>83 kg</b>  | <b>Besparing</b> | <b>186 kg</b> |

|                  |                |                     |                |                  |                |
|------------------|----------------|---------------------|----------------|------------------|----------------|
| <b>Koud Jaar</b> | <b>1000 kW</b> | <b>Normaal Jaar</b> | <b>1000 kW</b> | <b>Warm Jaar</b> | <b>1000 kW</b> |
| WKO              |                | WKO                 |                | WKO              |                |
| Gas              | 1 kg           | Gas                 | 0 kg           | Gas              | 0 kg           |
| Elektra          | 237 kg         | Elektra             | 108 kg         | Elektra          | 70 kg          |
| <b>Totaal</b>    | <b>237 kg</b>  | <b>Totaal</b>       | <b>108 kg</b>  | <b>Totaal</b>    | <b>70 kg</b>   |
| Conventioneel    |                | Conventioneel       |                | Conventioneel    |                |
| Gas              | 2 kg           | Gas                 | 2 kg           | Gas              | 1 kg           |
| Elektra          | 151 kg         | Elektra             | 190 kg         | Elektra          | 256 kg         |
| <b>Totaal</b>    | <b>154 kg</b>  | <b>Totaal</b>       | <b>192 kg</b>  | <b>Totaal</b>    | <b>257 kg</b>  |
| <b>Besparing</b> | <b>-83 kg</b>  | <b>Besparing</b>    | <b>83 kg</b>   | <b>Besparing</b> | <b>188 kg</b>  |

## Bijlage 22 Systeemtekeningen

In dit hoofdstuk zijn de systeemtekeningen en eenvoudige systeemtekeningen te vinden van de WKO installatie van het kantoor. De vereenvoudigde tekeningen geven aan in welke situatie welke regeling er toegepast wordt.

### **Beschrijving**

De uitgebreide systeemtekening (Kantoorgebouw WKO installatie) is de tekening van de huidige situatie bij het kantoorgebouw. Het kantoorgebouw bestaat nog niet, waardoor er verschillende gegevens missen. Het onderzoek beperkt zich tot de WKO installatie.

### **Warmtepomp**

De WKO installatie bestaat uit een warmtepomp die in de winter een warmtevermogen van 510 kW kan leveren en in de zomer een koudevermogen van 521 kW.

De verdamper van de warmtepomp is aangesloten op het GKW-net, om extra te kunnen koelen wanneer de bron onvoldoende vermogen heeft, en op de bron om koude te kunnen laden of warmte te kunnen onttrekken.

### **Warmtewisselaars**

De warmtewisselaar naar de WKO installatie aan de verdamperzijde van de warmtepomp is aangesloten op het leidingnet van de bronnen en kan maximaal 550 kW vermogen overbrengen bij een debiet van 60 m<sup>3</sup>/h. De warmtewisselaar wordt gebruikt om in de zomer koude te leveren aan het GKW-net en in de winter om de warmtepomp te met warmte uit de warme bron. Het is ook mogelijk om de warmtewisselaar in combinatie met de drogekoeler in te zetten om in de zomer de warme bron te laden wanneer de warmtepomp uit staat.

De warmtewisselaar naar de WKO installatie aan de condensorzijde van de warmtepomp wordt alleen gebruikt in de zomer om warmte te laden in de warme bron met de geproduceerde warmte van de warmtepomp in koelmodus. De TSA kan een maximaal vermogen overbrengen van 624 kW.

De warmtewisselaar bij de drogekoeler dient ervoor om koude over te brengen naar het GKW-net, om de warme bron te laden en om de warmte van de condensor af te voeren.

### **Bronnen**

De bron heeft een totaal vermogen van 1100 MWh en een maximaal debiet van 60 m<sup>3</sup>/h. Dit geldt voor de koude en de warme bron, omdat deze in balans moeten zijn.

### **Drogekoeler**

De drogekoeler in het systeem heeft een drietal functies.

- koeling GKW-net als de warmtepomp uit staat en de buitentemperatuur onder 6°C is
- opladen koude bron als de warmtepomp uit staat en de buitentemperatuur onder de 6°C is
- koeling van de condensor van de warmtepomp wanneer de bron in storing is
- opladen warme bron als de warmtepomp uit staat en de buitentemperatuur boven de 19°C is

Bij een buitentemperatuur onder de 1°C kan de drogekoeler een koudevermogen van 550 kW leveren aan het GKW-net en koude bron. Bij een temperatuur boven de 30°C kan de drogekoeler een koelvermogen van 624 kW leveren om de condensor van de warmtepomp af te koelen wanneer de bron in storing is.

Wanneer de warmtepomp niet in gebruik is, maar de buitentemperatuur boven de 19°C is kan de drogekoeler worden ingezet om de warmte te laden. Het vermogen is afhankelijk van de buitentemperatuur.

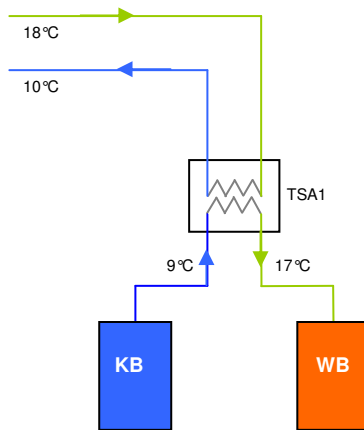
### **Ketel**

De ketel wordt gebruikt om eventuele pieken op te vangen van het CV-net. Het piekvermogen bij verwarming is 1000 kW. Met een warmtepomp die 521 kW verwarming kan leveren is daarom een ketel nodig van ongeveer 500 kW. De ketel wordt automatisch ingeschakeld wanneer de warmtepomp het gevraagde vermogen niet kan leveren.

### ***Vereenvoudigde tekening***

Om de WKO installatie overzichtelijk weer te geven zijn een aantal eenvoudige schema's gemaakt met uitleg over de desbetreffende regeling. In de zomer en winter zijn er beide twee verschillende regelingen mogelijk. In de schema's is het gebruik van de drogekoeler achterwege gelaten en is de nadruk gelegd op de WKO installatie in combinatie met de bron en ketel. De tekeningen staan op de volgende pagina in figuren 36, 37, 38 en 39.

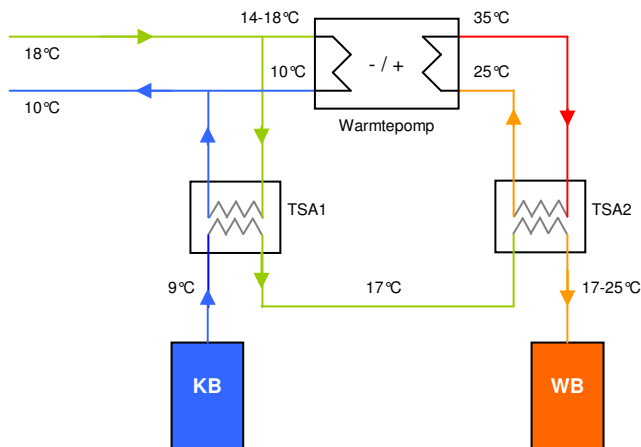
### Zomersituatie 1: Koude zomerdag



Figuur 35: Zomersituatie koude zomerdag

In de eerste zomersituatie gaat het om een koude dag in de zomer. Hierbij is de koeling van de koude bron voldoende om het gebouw te voorzien van koeling. Het water wordt met 9°C uit de koude bron gepompt en door TSA1 geleid. Deze stroom wordt hierdoor opgewarmd tot ongeveer 17°C en wordt daarna opgeslagen in de warmtebron. De retourstroom vanuit het gebouw wordt afgekoeld van 18°C tot ongeveer 10°C, zodat deze gebruikt kan worden voor het GKW-net.

### Zomersituatie 2: Warme zomerdag



Figuur 36: Zomersituatie warme zomerdag

In de tweede zomersituatie is het een warme dag in de zomer waarbij de bron niet voldoende koelvermogen kan leveren. Het water wordt met 9°C uit de koude bron gepompt en door TSA1 geleid. Het water dat is opgewarmd naar 17°C wordt vervolgens door TSA2 geleid en verder opgewarmd naar maximaal 25°C door de geproduceerde warmte van de warmtepomp. De retourleiding vanuit het gebouw wordt opgesplitst in twee stromen; naar TSA1 en naar de warmtepomp. De warmtepomp koelt het water van 14°C-18°C af tot 6°C. Dit water wordt vervolgens gemengd met water dat van TSA1 komt tot de temperatuur van de aanvoer 10°C bedraagt.

The diagram illustrates a heating system. A blue box labeled 'KB' (Kühlbehälter) is connected to a green box labeled 'TSA1' (Trennungselement). A red box labeled 'WB' (Wärmebehälter) is also connected to the 'TSA1' element. A black box labeled 'Wärmepump' (Heat Pump) is connected to the 'TSA1' element. The heat pump has two outputs: a red line to the right labeled '40°C - 55°C' and an orange line to the right labeled '30°C - 40°C'. The 'TSA1' element has two inputs: a blue line from the 'KB' labeled '7°C' and a green line from the 'WB' labeled '15°C'. The 'TSA1' element has two outputs: a blue line to the 'Wärmepump' labeled '6°C' and a green line to the 'Wärmepump' labeled '14°C'. The 'Wärmepump' has a label '- / +' inside.

In de wintersituatie met een warme winterdag wordt warmte uit de bron onttrokken om het CV-net te verwarmen. Tijdens een warme dag voldoet de bron alleen om in combinatie met de warmtepomp het CV-net van warmte te voorzien. Het water wordt met 15°C uit de warme bron gepompt en door TSA1 geleidt. Het te verwarmen water wordt daardoor opgewarmd van 6°C naar 14°C en naar de warmtepomp gepompt. Het afgekoelde water dat uit de verdamper komt, gaat vervolgens terug naar TSA1 om opnieuw op te warmen. Het koude water wordt met een temperatuur van 7°C in de koude bron opgeslagen.

The diagram illustrates a heating system. A blue box labeled 'KB' (Koudemiddelbak) is connected to a green line. The green line passes through a component labeled 'TSA1' (a zigzag line in a box) and then enters a 'Warmtepomp' (heat pump). The heat pump is represented by a box with two triangles pointing towards each other, labeled '- / +'. The green line exits the heat pump at 14°C and goes to a 'Hr-ketel' (condenser). The condenser is a box with a red line entering at 40°C - 55°C and an orange line exiting at 30°C - 40°C. The orange line returns to the heat pump. A blue line also exits the heat pump and goes to the 'KB'. A green line exits the condenser at 15°C and returns to the 'TSA1' component. A blue line exits the 'TSA1' component at 7°C and returns to the 'KB'.

In een wintersituatie met een koude winterdag kan er een groot vermogen gevraagd worden, dat de warmtepomp niet voldoende vermogen uit de warme bron kan halen. Het piekvermogen dat gevraagd kan worden in de winter ligt namelijk op 1000 kW en de warmtepomp kan maar 521 kW leveren. Om deze reden is het mogelijk om een ketel bij te schakelen van ongeveer 500 kW zodat ook aan deze piek voldaan kan worden. De ketel staat in serie met de warmtepomp schakelt automatisch bij als de temperatuur bij een bepaald debiet niet op gewenst niveau kan komen.

### **Conventionele installatie**

Omdat het gebouw met de WKO installatie vergeleken wordt met een conventionele installatie (bestaande uit een koelmachine, ketel en eventueel een drogekoeler) worden hieronder twee systemen beschreven met een package koelmachine en een watergekoelde koelmachine. Het verschil tussen de twee systemen is dat een package koelmachine de condensorkoeling intern heeft zodat de koelmachine bijvoorbeeld op het dak van een gebouw kan staan om de warmte af te staan aan de buitenlucht. Een watergekoelde koelmachine kan in een technische ruimte staan waarbij de warmte wordt afgegeven aan externe koeling, bijvoorbeeld een drogekoeler, die op het dak staat. De drogekoeler kan ook worden ingezet om de koelmachine te ontlasten wanneer er een kleine koelvraag is en de buitentemperatuur laag genoeg is.

### **Conventionele installatie met package koelmachine**

*Tekening: Kantoorgebouw Conventioneel met Package KM*

Wanneer geen WKO gebruikt wordt, moet de koelmachine een grotere capaciteit hebben dan in het WKO ontwerp is aangegeven. Dit komt, omdat de bron een groot deel van de koeling levert en de warmtepomp alleen inschakelt om aan de piekvraag te voldoen. Het gevraagde piekvermogen van koude ligt op 720 kW in een warm jaar, waardoor de koelmachine minimaal dit vermogen moet kunnen leveren. In de zomer koelt de koelmachine het koelwater met een temperatuur van 14 °C terug naar een temperatuur van 10 °C en wordt het vervolgens naar het GKW-net gepompt. De koelmachine levert de benodigde koude waardoor het systeem veelal in lage deellast zal werken. Om een hoog rendement te halen is het daarom verstandig om een koelmachine met hoge COP waarde lage bij deellast te gebruiken.

### **Conventionele installatie met watergekoelde koelmachine**

*Tekening: Kantoorgebouw Conventioneel met KM + DK*

In tegenstelling tot de package koelmachine werkt de watergekoelde koelmachine met een extern koelsysteem.

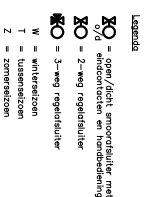
Het systeem met een watergekoelde koelmachine werkt nagenoeg hetzelfde als het systeem bij de package koelmachine. Het enige verschil is, dat de drogekoeler de koelmachine kan ontlasten als het buiten koud genoeg is. In de winter is er weinig koudevraag, waardoor de drogekoeler deze koudevraag kan leveren. Een drogekoeler heeft een hoger rendement dan de koelmachine, waardoor koude op een relatief goedkope manier geproduceerd kan worden.

### **Conventioneel ketel systeem**

Naast het koelsysteem is er ook een systeem nodig voor verwarming. Conventioneel gebeurt dit door middel van Hr-ketels. Voor een watergekoelde of package koelmachine is het verwarmingsnet identiek.

Om conventioneel te verwarmen, wordt alle warmte geleverd door ketels. Het gevraagde piekvermogen komt neer op 1000 kW. Het is mogelijk om één grote ketel te plaatsen die het vermogen kan leveren, maar het is verstandiger om het vermogen op te splitsen met twee ketels. Op deze manier kunnen de ketels elkaar afwisselen en redundantie in het systeem ontstaat. De meeste warmtevraag ligt onder de 500 kW, waardoor één van de twee ketels inschakelt om aan de vraag te voldoen. Het water aan de intredetemperatuur van de ketels, heeft een variërende temperatuur van 30-45 °C. De temperatuur hangt af van de hoeveelheid mensen die in het gebouw aanwezig zijn, hoeveel computers aanstaan, apparaten die warmte afgeven en de buitentemperatuur. De ketels verwarmen het water vervolgens tot de gewenste temperatuur.



[illegible]

